



TESIS - SF 142502

**SISTEM PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL*
SECARA SIMULTAN MENGGUNAKAN MULTI SENSOR
INTERDIGITAL CAPASITORS DARI BAHAN FR-4 PCB.**

Zacharias Yawan
NRP 1114201029

Dosen Pembimbing
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS – SF 142502

**SISTEM PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL*
SECARA SIMULTAN MENGGUNAKAN MULTI SENSOR
INTERDIGITAL CAPASITORS DARI BAHAN FR-4 PCB.**

Zacharias Yawan
NRP 1114201029

Dosen Pembimbing
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M. Si)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh

**Zacharias Yawan
Nrp. 1114201029**

Tanggal Ujian : 3 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

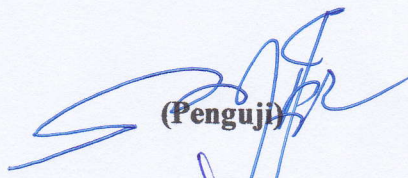
Disetujui oleh:

1. **Dr. Melania Suweni Muntini, MT.**
NIP: 19641229 19902 2 001



(Pembimbing)

2. **Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.**
NIP: 19690904 199203 1 003



(Penguji)

3. **Dr. Suyatno, M.Si**
NIP: 19760620 200212 1 004



(Penguji)



**Dekan Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Prof. Dr. rer.nat. Agus Rubiyanto, M.Eng. Sc.
NIP. 19650619 198903 1 001

SISTEM PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL* SECARA SIMULTAN MENGGUNAKAN MULTI SENSOR *INTERDIGITAL CAPASITORS* DARI BAHAN FR-4 PCB

Nama Mahasiswa : Zacharias Yawan
NRP : 1114201029
Dosen Pembimbing : Dr. Melania Suweni Muntini, MT

ABSTRAK

FR-4 PCB adalah salah satu bahan elektroda yang digunakan untuk membuat sensor *Interdigital Capacitors* (IDCs) dan dibuat di Laboratorium Instrumentasi Departemen Fisika ITS Surabaya. Sensor dari bahan tersebut yang digunakan untuk pengukuran permitivitas tiga sampel *crude oil* ada 4 buah dan setelah diukur dengan PM 6303 RCL meter Philip type A pada frekuensi 1 kHz dan suhu ruangan 27⁰ C maka masing-masing memiliki nilai kapasitansi yang berbeda-beda, yaitu IDCs S1= 9.3 pF, IDCs S2 = 8.7 pF, IDCs S3 = 6.2 pF dan IDCs S4 = 3.9 pF.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran permitivitas *crude oil* dengan bantuan sistem pengukuran berbasis Arduino Uno Atmega 328 dan nilai kapasitansi *crude oil* yang diukur secara simultan menggunakan multi sensor *interdigital capacitors* yang dimasukkan ke dalam sampel *crude oil*.

Nilai kapasitansi *crude oil* ditampilkan di layar komputer dan digunakan untuk menghitung permitivitas *crude oil*.

Kata kunci : Permitivitas, *crude oil*, *Interdigital Capacitor*, FR-4 PCB.

THE MEASUREMENT SYSTEM OF PERMITIVITY OF *CRUDE OIL* SIMULTANEOUSLY WITH THE USE MULTI *INTERDIGITAL CAPACITOR* SENSOR OF FR-4 PCB .

By : Zacharias Yawan
Student Identity Number : 1114201029
Supervisor : Dr. Melania Suweni Muntini, MT

ABSTRACT

FR-4 PCB is the one of the electrode materials which used to design and make an interdigital capacitors sensor(IDCs) and it is made in the Instrumentation Laboratory of Departement of physics at ITS. There are 4 pieces of sensor are made to measure permitivity of the available *crude oil* samples. The four sensor have been measured by the PM 6303 A RCL meter at the frequency of 1 kHz at room temperature 27°C , so each sensor has different capacitance value, that is IDCs S1 = 9.3 pF, IDCs S2= 8.7 pF, IDCs S3= 6.2 pF, IDCs S4= 3.9 pF.

These research were performed the measurement of permitivity of three samples *crude oil* by using the measurement system of the Arduino uno Atmega 328 and the capacitance value of *crude oil* is measured simultaneously with the use multi sensor of interdigital capacitor sensor(IDCs).

The capacitance values are displayed on the computer screen and are used to calculate the permitivity of *crude oil*.

Keyword : Permitivity, *crude oil*, *interdigital capacitor*, FR-4 PCB.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang maha Esa, karena hanya atas Kasih, penyertaan dan perlindungan serta kekuatan yang selalu Dia berikan sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian yang diberikan judul “ Sistem pengukuran permitivitas *crude oil* secara simultan menggunakan multi sensor *Interdigital Capacitors* dari bahan FR-4 PCB”.

Pada kesempatans ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian Tesis ini, diantaranya:

1. Dr. Melania Suweni Muntini, MT, selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing tesis yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan dan motivasi sejak awal penulis menjadi mahasiswa beliau hingga saat ini.
2. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Kepala Departemen Fisika sekaligus sebagai dosen penguji yang telah banyak memberikan motivasi, arahan dan masukan positif dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Dr, Suyatno, M.Si selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan positif bagi penelitian dan penulisan laporan penelitian ini.
4. Istri tercinta Kapten Laut TNI-AL Maria Aibekob yang selalu memberikan semangat dan inspirasi, serta anak-anakku tersayang Norman Athletico Yawan, dan Rainer Jack Yawan yang selalu menjadi sumber semangat dan motivasi.
5. Rekan satu tim peneliti *crude oil* , Risse Entikaria Rachmanita, Ulfa Niswatul Khasana dan Bogiva Mardyanto yang penelitiannya dapat digunakan sebagai referensi.
6. Ibu Devy Fitri A dan bapak Eko Andri Wahyudi sebagai staff laboratorium Intrumentasi Departemen Fisika ITS yang membantu memberikan peminjaman alat-alat ukur seperti PM 6303 A RCL meter type phlip dan Multimeter.
7. Dan pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini tentunya banyak memiliki kekurangan karena kurangnya pengalaman dan pengetahuan penulis sendiri. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun terutama dari dosen pembimbing dan dosen-dosen penguji dan rekan-rekan sekalian sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa akan datang. .

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 .Latar belakang.....	1
1.2 Perumusan masalah.....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan penelitian.....	2
1.5 Manfaat penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Crude oil</i>	5
2.2 Permittivitas.....	7
2.3 Kapasitansi.....	8
2.4 <i>Interdigital capacitors</i>	12
2.5 Arduino Uno ATmega 328.....	16
2.6 Pengukuran berulang dan standar deviasi.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Jenis penelitian dan tempat penelitian.....	27
3.2 Alat dan bahan.....	27
3.3 Parameter observasi.....	27
3.4 Prosedur penelitian.....	28
3.4.1 Studi literatur dan pengambilan sampel <i>crude oil</i>	28

3.4.2 Desain IDCs dari bahan FR-4 PCB.....	30
3.4.3 Perancangan rangkaian sistem sensor.....	31
3.4.4 Pengukuran kapasitansi IDCs dan <i>crude oil</i>	31
3.4.5 Perhitungan error pengukuran permitivitas IDCs.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Proses pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> A, B dan C.....	37
4.1.1 Hasil pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> A.....	37
4.1.2 Hasil pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> B.....	41
4.1.3 Hasil pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> C.....	45
4.2 Analisa error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> A, B dan C.....	49
4.2.1 Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> A	49
4.2.2 Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> B	49
4.2.5 Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> C	50
4.3 Perhitungan permitivitas <i>crude oil</i> terbaik pada <i>crude oil</i> A, B dan C.....	50
BAB V KESIMPULAN.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Dua konduktor terisolasi.....	9
Gambar 2.2	Kapasitor plat sejajar.....	10
Gambar 2.3	Garis medan listrik di antara plat konduktor.....	10
Gambar 2.4	Struktur interdigital capacitors.....	13
Gambar 2.5	Konfigurasi model IDCs tampak dari samping.....	14
Gambar 2.6	Skema Arduino uno ATmega 328.....	17
Gambar 2.7	Model Arduino uno ATmega 328 tampak depan dan belakang.....	18
Gambar 2.8	Arsitektur Arduino uno Atmega 328.....	19
Gambar 2.9	Bagian-bagian utama arduino uno ATmega 328.....	21
Gambar 2.10	Tampilan IDE Arduino uno ATmega 328.....	23
Gambar 3.1	Sampel <i>crude oil</i>	29
Gambar 3.2	Desain IDCs FR-4 PCB	30
Gambar 3.3	PM 6303 A RCL meter type Philip.....	31
Gambar 3.4	Sistem pengukuran <i>crude oil</i>	32
Gambar 3.5	Diagram alir proses akuisisi data dan karakteristik sensor.....	33
Gambar 4.1	Grafik perhitungan permtivitas <i>crude oil</i> A.....	39
Gambar 4.2	Grafik perhitungan permitivitas <i>crude oil</i> B.....	43
Gambar 4.3	Grafik perhitungan permitivitas <i>crude oil</i> C.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi desain IDCs FR-4 PCB.....	30
Tabel 4.1.a	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (1 s/d 10).....	38
Tabel 4.1.b	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (11 s/d 20).....	38
Tabel 4.1.c	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (21 s/d 30).....	38
Tabel 4.1.d	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (31 s/d 40).....	38
Tabel 4.1.e	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (41 s/d 50).....	38
Tabel 4.1.f	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (51 s/d 60).....	39
Tabel 4.1.g	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (61 s/d 70).....	39
Tabel 4.1.h	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A data ke (71 s/d 80).....	39
Tabel 4.2	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> A dari data ke (1 s/d 80).....	40
Tabel 4.3	Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas <i>crude oil</i> A	40
Tabel 4.4.a	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (1 s/d 10).....	41
Tabel 4.4.b	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (11 s/d 20).....	41
Tabel 4.4.c	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (21 s/d 30).....	42
Tabel 4.4.d	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (31 s/d 40).....	42
Tabel 4.4.e	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (41 s/d 50).....	42
Tabel 4.4.f	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (51 s/d 60).....	42
Tabel 4.4.g	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (61 s/d 70).....	42
Tabel 4.4.h	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B data ke (71 s/d 80).....	43
Tabel 4.5	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> B dari data ke (1 s/d 80).....	44
Tabel 4.6	Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas <i>crude oil</i> B	44
Tabel 4.7.a	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (1 s/d 10).....	45
Tabel 4.7.b	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (11 s/d 20).....	45
Tabel 4.7.c	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (21 s/d 30).....	45
Tabel 4.7.d	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (31 s/d 40).....	45
Tabel 4.7.e	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (41 s/d 50).....	45
Tabel 4.7.f	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (51 s/d 60).....	46
Tabel 4.1.g	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (61 s/d 70).....	47
Tabel 4.1.h	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C data ke (71 s/d 80).....	47
Tabel 4.8	Nilai permitivitas <i>crude oil</i> C dari data ke (1 s/d 80).....	48
Tabel 4.9	Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas <i>crude oil</i> C.....	48
Tabel 4.10	Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> A.....	49
Tabel 4.11	Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> B.....	49
Tabel 4.12	Error pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> C.....	50
Tabel 4.13	Permitivitas <i>crude oil</i> terbaik pada sampel <i>crude oil</i> A, B dan C.....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi modern dalam dunia Transportasi maupun Industri pada saat ini membutuhkan banyak energi, sehingga minyak mentah (*crude oil*) memegang peranan penting sebagai sumber energi untuk menggerakkan mesin-mesin pada sarana transportasi dan mesin-mesin industri. Minyak mentah (*crude oil*) dapat diukur permitivitasnya dengan sensor yang bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi, yaitu interdigital capacitors (IDCs) yang nilai permitivitasnya dapat diperoleh dari metode kapasitor sejajar. Kapasitor merupakan komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan (Halliday et al, 2010).

Beberapa peneliti yang sudah melakukan pengukuran permitivitas adalah Sylwia Przywoska melakukan pengukuran permitivitas fluida dengan menggunakan sensor IDCs dari bahan Printed Circuit Board (PCB) dengan bantuan alat ukur PM 6303 A RCL meter pada frekuensi 1 KHz dengan mengukur 3 sampel *crude oil* dan larutan gula; Risse Entikaria Rachmanita melakukan pengukuran konstanta dielektrik *crude oil* yang sebelumnya telah fabrikasi dan karakterisasi interdigital capacitors (IDCs) menggunakan metode *DC magnetron sputtering* dengan variasi konfigurasi dan bahan elektroda, dimana bahan elektroda tersebut dibuat dari aluminium (Al), tembaga (Cu), dan Perak (Ag).; Ulfa Niswatul Khasana melakukan pengukuran permitivitas *crude oil* menggunakan *interdigital capacitors* (IDCs) dari bahan FR-4 Printed Circuit Board (PCB), alat ukur yang digunakan adalah PM 6303 A RCL meter dan mengukur tiga sampel *crude oil*; Bogiva Mirdyanto melakukan pengukuran permitivitas *crude oil* menggunakan sensor interdigital capacitors (IDCs) dari bahan elektroda yang dibuat dari perak (Ag), tembaga (Cu) dan mengukur tiga sampel *crude oil* secara simultan dengan bantuan sistem pengukuran dengan menggunakan Arduino Uno Atmega 328. (Muntini, et al 2017)

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran permitivitas *crude oil* dengan menggunakan sensor interdigital capacitors (IDCs) dan bahan elektrodanya dari bahan FR-4 PCB dengan bantuan sistem pengukuran dengan menggunakan Arduino Uno Atmega 328 dan sampel *crude oil* yang diukur ada tiga sampel, yaitu sampel A, B dan C.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, maka dapat dirumuskan beberapa masalah:

1. Bagaimana merancang sistem pengukuran konstanta dielektrik *crude oil*.
2. Bagaimana cara mengukur dan menganalisis hasil pengukuran konstanta dielektrik *crude oil*.
3. Bagaimana cara menganalisis hasil karakterisasi sensor IDCs dari PCB .
4. Bagaimana membuat sistem pengukuran permitivitas *crude oil* dari multi sensor interdigital capacitors (IDCs).

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan PM 6303A RCL meter type Phillip sebagai kalibrator.
2. Variabel fisis yang dikontrol dalam penelitian ini adalah wadah *crude oil*, volume *crude oil* dan bahan Elektroda IDCs.
3. Menggunakan FR-4 PCB *Board* sebagai bahan pembuatan sensor IDCs.
4. Variabel yang diukur adalah konstanta dielektrik *crude oil*.
5. Menggunakan Arduino uno ATmega 328 untuk melakukan sistem pengukuran simultan.
6. Menggunakan sensor IDCs sebanyak 4 buah.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang *interdigital capacitors*(IDCs) dengan menggunakan bahan FR-4 PCB *Board*.

2. Menganalisis hasil karakterisasi *interdigital capacitors* untuk mendapatkan konfigurasi elektroda yang paling baik sebagai sensor pengukuran konstanta dielektrik *crude oil*.
3. Melakukan pengukuran konstanta dielektrik *crude oil* dan menganalisis hasil pengukuran sehingga mendapatkan nilai konstanta dielektrik atau nilai permitivitas *crude oil* yang terbaik.
4. Mendapatkan sistem pengukuran permitivitas *crude oil* dengan multi sensor *interdigital capacitors* (IDCs) secara simultan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pengetahuan tentang *interdigital capacitors* sebagai sensor pengukuran konstanta dielektrik.
2. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh konfigurasi terhadap nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik *crude oil*.
3. Menjadi landasan dalam pengembangan *interdigital capacitors* sebagai sensor pengukuran konstanta dielektrik sehingga bisa dijadikan rujukan dalam riset yang lain.
4. Menjadi salah satu pilihan dalam pembuatan alat ukur konstanta dielektrik dengan menggunakan bahan FR-4 PCB.
5. Bahan referensi bagi industri perminyakan tentang metode pengukuran permitivitas *crude oil*.
6. Memberikan pengetahuan tentang pengukuran permitivitas *crude oil* dengan multi sensor *interdigital capacitors* secara simultan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Crude Oil*

Crude Oil atau minyak mentah adalah cairan coklat kehijauan sampai hitam yang terutama terdiri dari karbon dan hidrogen. Teori yang paling umum digunakan untuk menjelaskan asal-usul minyak bumi adalah “*Organic Source materials*”. Teori ini menyatakan bahwa minyak bumi merupakan produk perubahan secara alami dari zat-zat organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mengendap selama ribuan sampai jutaan tahun. Akibat dari pengaruh tekanan, temperatur, kehadiran senyawa logam dan mineral serta letak geologis selama proses perubahan tersebut, maka minyak bumi akan mempunyai komposisi yang berbeda di tempat yang berbeda.

Komposisi minyak bumi terdiri dari senyawa hidrokarbon dan senyawa anorganik, dimana senyawa hidrokarbon sebanyak 50 – 98% berat, sisanya terdiri atas zat-zat organik yang mengandung belerang, oksigen dan nitrogen serta senyawa-senyawa anorganik seperti vanadium, nikel, natrium, besi, aluminium, kalsium dan mangan. Secara umum, komposisi minyak bumi terdiri dari :

- a. Karbon(C) 84 -87%,
- b. Hidrogen(H) 11 – 14%,
- c. Sulfur(S) 0 -3%,
- d. Nitrogen (N) 0 – 1%,
- e. Oksigen (O) 0 – 2%.

Berdasarkan kandungan senyawanya minyak bumi dapat dibagi menjadi golongan hidrokarbon dan non-hidrokarbon serta senyawa-senyawa logam. Golongan hidrokarbon-hidrokarbon yang utama adalah parafin, olefin, naften, dan aromatik. Parafin adalah kelompok senyawa hidrokarbon jenuh berantai lurus(alkana), C_nH_{2n+2} contohnya metana(CH_4), etana(C_2H_6), nbutana(C_4H_{10}), isobutana(2metilpropana C_4H_{10}) dan isopentana(2metilbutana C_5H_{12}). Jumlah senyawa yang tergolong kedalam senyawa isoparafin jauh lebih banyak dari pada senyawa yang tergolong n-parafin. Tetapi didalam minyak bumi mentah, kadar

senyawa isoparafin biasanya lebih kecil dari pada n-parafin. Olefin adalah kelompok senyawa hidrokarbon tidak jenuh, C_nH_{2n} . Contohnya etilena(C_2H_4), propena(C_3H_6) dan butena (C_4H_8). Naften adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang membentuk struktur cincin dengan rumus molekul C_nH_{2n} . Senyawa-senyawa kelompok naften yang banyak ditemukan adalah senyawa yang struktur cincinnya tersusun dari 5 atau 6 atom karbon. Contohnya siklopentana(C_5H_{10}), metilsiklopentana(C_6H_{12}) dan sikloheksana(C_6H_{12}). Umumnya didalam minyak bumi mentah, naften merupakan kelompok senyawa hidrokarbon yang memiliki kadar terbanyak kedua setelah n-parafin. Aromatik adalah hidrokarbon-hidrokarbon tak jenuh yang berintikan atom-atom karbon umumnya memiliki kadar aromatik yang relatif besar. yang membentuk cincin benzen(C_6H_6). Contohnya benzen(C_6H_6), metilbenzen(C_7H_8) dan naftalena($C_{10}H_8$). Minyak bumi dari Sumatera dan Kalimantan umumnya memiliki kadar aromatik yang relative besar.

Selain senyawa-senyawa yang tersusun dari atom-atom karbon dan hidrogen , didalam minyak bumi ditemukan juga senyawa non hidrokarbon seperti belerang, nitrogen, oksigen, vanadium, nikel dan natrium yang terikat pada rantai atau cincin hidrokarbon. Unsur-unsur tersebut umumnya tidak dikehendaki berada didalam produk-produk pengilangan minyak bumi, sehingga keberadaannya sangat akan mempengaruhi langkah-langkah pengolahan yang dilakukan terhadap suatu minyak bumi.

Belerang terdapat dalam bentuk hidrogen sulfida(H_2S), belerang bebas(S), merkaptan(R,SH , dengan R =gugus alkil), Sulfid($R-S-R$), disulfida($R-S-S-R$) dan tiofen (Sulfida siklik). Senyawa-senyawa belerang tidak dikehendaki karena:

- Menimbulkan bau tidak sedap dan sifat korosif pada produk pengolahan.
- Mengurangi efektivitas zat-zat bujukan pada produk pengolahan.
- Meracuni katalis-katalis perengkahan.
- Menyebabkan pencemaran udara pada pembakaran bahan bakar minyak, senyawa belerang teroksidasi menjadi zat-zat korosif yang membahayakan lingkungan, yaitu SO_2 dan SO_3 .

Senyawa-senyawa nitrogen dibagi menjadi zat-zat yang bersifat basa seperti 3-metilpiridin(C_6H_7N) dan kuinolin(C_9H_7N) serta zat-zat yang tidak bersifat basa

seperti pirol (C_4H_5N), indol (C_8H_7N) dan karbazol ($C_{12}H_9N$). Senyawa-senyawa nitrogen dapat mengganggu kelancaran pemrosesan katalitik yang jika sampai terbawa kedalam produk, berpengaruh buruk terhadap bau, kestabilan warna, serta sifat penuaan produk tersebut.

Oksigen biasanya terikat gugus karboksilat dalam asam naftenat (2, 2, 6 trimetilsikloheksan karboksilat $C_{10}H_{18}O_2$, asam-asam lemak (alkanoat), gugus hidroksifenolik dan gugus keton. Senyawa oksigen tidak menyebabkan masalah serius seperti halnya senyawa belerang dan senyawa nitrogen pada proses katalitik.

Minyak bumi biasanya mengandung 0,001 - 0,05% berat logam. Kandungan logam yang biasanya paling tinggi adalah vanadium, nikel dan natrium. Logam-logam ini terdapat bentuk garam terlarut dalam air yang tersuspensi dalam minyak atau dalam bentuk senyawa organometal yang larut dalam minyak. Vanadium dan nikel merupakan racun bagi katalis-katalis pengolahan minyak bumi dan dapat menimbulkan masalah jika terbawa kedalam produk pengolahan (Hutagaol, 2009).

2.2 Permittivitas

Permittivitas adalah konstanta proporsionalitas yang terkait medan listrik dalam suatu material dengan perpindahan listrik dalam bahan itu. Permittivitas mencirikan muatan atom dalam bahan isolator akan terdistorsi di hadapan medan listrik. Semakin besar kecenderungan muatan mengalami distorsi (juga disebut polarisasi listrik), semakin besar nilai permittivitas.

Dalam elektromagnetisme, permittivitas merupakan cara untuk mengukur tingkat resistensi yang dialami setiap kali adanya medan listrik di dalam medium. Dengan kata lain permittivitas dapat digambarkan sebagai perhitungan yang terkait dengan bagaimana pengaruh medan listrik yang dipengaruhi medium dielektrik. Dalam satuan SI, permittivitas dinilai dalam farad per meter.

Permitivitas dari isolator, atau bahan dielektrik yang biasa dilambangkan dengan huruf epsilon Yunani, ε permitivitas vakum atau ruang hampa, dilambangkan ε_0 dan rasio $\varepsilon/\varepsilon_0$ disebut konstanta dielektrik (q,v), dilambangkan dengan huruf Yunani Kappa, K . Besarnya permitivitas vakum dari ε_0 adalah 8.854×10^{-12} F/m. Dalam sistem mks, permitivitas ε dan konstanta dielektrik K berdimensi secara resmi berbeda dan terkait dengan permitivitas ε_0 ruang hampa;

$$\varepsilon = K \varepsilon_0 \quad (2.1)$$

dimana,

ε = Permitivitas bahan

K = permitivitas relatif

ε_0 = Permitivitas ruang hampa

2.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah ukuran jumlah muatan listrik yang disimpan untuk sebuah potensial listrik yang telah ditentukan. Bentuk paling umum dari piranti penyimpanan muatan adalah sebuah kapasitor dua pelat sejajar. Jika muatan di Pelat + Q dan $-Q$, dan V adalah tegangan anantara dua pelat sejajar maka rumus kapasitansi adalah :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.2)$$

dimana,

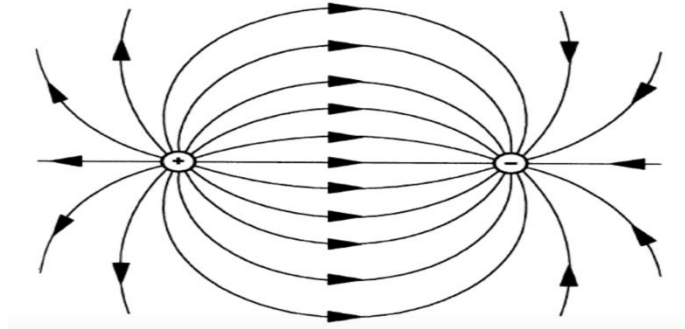
C = kapasitansi yang diukur dalam farad

Q = Muatan yang diukur dalam coulomb.

V = Tegangan yang diukur dalam volt.

Dalam setiap kapasitor terdiri dari unsur-unsur dasar yaitu dua konduktor yang terisolasi listrik satu sama lain dan dari lingkungannya. Kedua konduktor bisa berbentuk apapun, tanpa memperdulikan geometrinya, datar ataukah tidak yang biasa disebut pelat konduktor. Ketika kapasitor diisi maka muatan pada kedua konduktor memiliki magnitude yang sama Q tapi dengan tanda yang berlawanan.

Dengan demikian muatan masing-masing konduktor adalah $+Q$ dan $-Q$.



Gambar 2.1 Dua konduktor terisolasi listrik satu sama lain dan dari lingkungannya (Halliday et al., 2010).

Gambar 2.2 menunjukkan susunan konduktor yang lebih konvensional, yang disebut kapasitor pelat sejajar. Kapasitor pelat sejajar terdiri dari dua pelat konduktor sejajar dengan luas A yang dipisahkan dengan jarak d . Karena pelat-pelat tersebut adalah konduktor, keduanya merupakan permukaan ekuipotensial, semua titik di atas sebuah pelat memiliki potensial listrik yang sama. Selain itu, terdapat beda potensial di antara kedua pelat tersebut.

Muatan Q dan beda potensial V untuk kapasitor adalah proporsional satu sama lain, artinya:

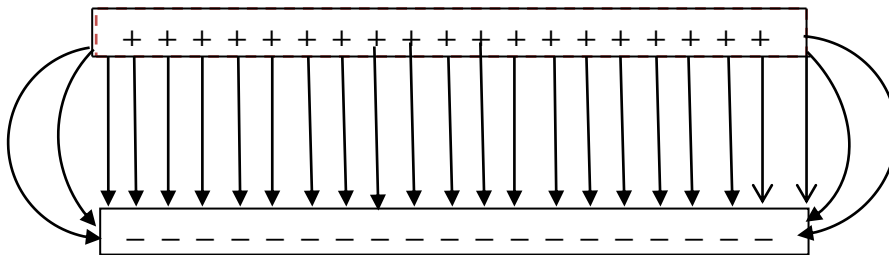
$$Q = CV \quad (2.3)$$

Konstanta proporsionalitas C disebut sebagai kapasitansi dari kapasitor. Nilainya hanya bergantung pada geometri pelat, bukan pada muatan atau beda potensialnya.



Gambar 2.2 Kapasitor pelat sejajar (Halliday et al., 2010).

Kapasitansi adalah ukuran dari berapa banyak muatan yang harus diadakan pada pelat-pelat untuk menghasilkan beda potensial tertentu di antara keduanya, semakin besar kapasitansi semakin banyak muatan yang diperlukan (Halliday et al., 2010). Dalam referensi lain disebutkan, kapasitansi merupakan kuantitas murni geometris yang ditentukan oleh ukuran, bentuk, dan pemisahan dari kedua konduktor. Dalam satuan internasional (SI), kapasitansi (C) diukur dalam farad (F), yaitu coulomb per volt. Q adalah muatan listrik (Coulomb) dan V adalah beda potensial (Volt) (Griffits, D.J., 1999).



Gambar 2.3 Garis medan listrik di antara pelat konduktor (Halliday et al., 2010).

Pada Gambar 2.3 menunjukkan garis-garis medan listrik akibat kedua pelat mempunyai distribusi muatan yang simetri diantara pelat konduktor. Untuk mengaitkan medan listrik E di antara pelat-pelat dari sebuah kapasitor terhadap muatan Q pada salah satu pelat tersebut, maka digunakan hukum Gauss:

$$\oint E \cdot dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (2.4)$$

Di sini, Q adalah muatan yang dilingkupi oleh permukaan Gauss dan $\oint E \cdot dA$ adalah fluks listrik neto pada permukaan tersebut. Persamaan 2.2 disederhanakan menjadi:

$$Q = \epsilon_0 EA \quad (2.5)$$

dengan A adalah luas dari bagian permukaan Gauss yang dilewati fluks (m^2).

Jika kedua pelat konduktor diberikan tegangan V yang konstan, maka beda potensial di antara keduanya dapat dinyatakan,

$$V_f - V_i = - \int_i^f E \cdot ds \quad (2.6)$$

yang integralnya akan dievaluasi sepanjang setiap jalur yang dimulai dari satu pelat dan berakhir di pelat yang lain, dari pelat negatif ke pelat positif. Oleh karena itu, vektor E dan ds akan memiliki arah yang berlawanan, sehingga hasil kali titik $E \cdot ds$ sama dengan $-Eds$. Dengan demikian, sisi kanan persamaan 2.4 menjadi positif. Dengan menetapkan V untuk mewakili $V_f - V_i$ maka persamaan 2.4 menjadi,

$$V = \int_-^+ Eds \quad (2.7)$$

di mana $-$ dan $+$ mewakili jalur integrasi dimulai pada pelat negatif dan berakhir ke pelat positif.

Dengan mengasumsikan bahwa kedua pelat dari kapasitor pelat sejajar tidak terbatas panjangnya dan keduanya sangat berdekatan sehingga rumbai (*fringing*) dari medan listrik di tepi pelat bisa diabaikan dan E konstan pada seluruh wilayah di antara pelat. Persamaan 2.5 menjadi,

$$V = \int_-^+ Eds = E \int_0^d ds = Ed \quad (2.8)$$

E dapat diletakkan di luar integral karena merupakan sebuah konstanta, maka integral berikutnya hanya berisi jarak pemisah antar pelat d .

Dengan mensubstitusi Q dari persamaan 2.3 dan V dari persamaan 2.6 ke dalam persamaan 2.1, menghasilkan

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (2.9)$$

maka terbukti bahwa kapasitansi hanya bergantung pada faktor geometris, yaitu luas pelat A dan jarak pemisah pelat d . Ketika terdapat bahan dielektrik diantara kedua pelat maka besar kapasitansinya menjadi,

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2.10)$$

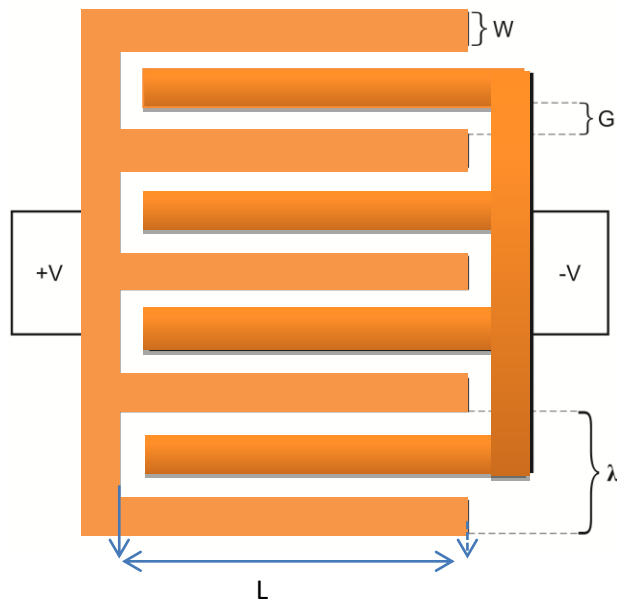
Bahan dielektrik adalah bahan isolator yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas sebuah kapasitor (Halliday et al., 2010).

2.4 *Interdigital Capacitors*

Interdigital capacitors merupakan sensor yang berbentuk seperti pola sisir elektroda yang periodik dan dicetak pada papan dengan bahan substrat seperti silikon atau *glass*. IDCs biasanya juga menggunakan *printed circuit board* (PCB). IDCs telah dikembangkan dalam berbagai aplikasi, seperti aplikasi kontrol pada proses pengasapan, penelitian komponen dielektrik keramik dan polimer film, fabrikasi pada komponen elektronik seperti filter gelombang mikro, perlengkapan akustik, aplikasi pada transducer, dalam bidang kimia dan biologi (Igreja and Dias, 2011). Selain itu aplikasi IDCs diterapkan untuk mengukur konstanta dielektrik kompleks bahan (Zhang, 2010), sensor gas dan kelembapan (C. Laville dan C. Pellet, 2002), mendeteksi kandungan bahan kimia yang berbahaya pada bahan makanan laut (Mohd Syaifudin et al., 2009), mendeteksi tetes fluida mikro (Cole and Kenis, 2009), mendeteksi kandungan gula pada larutan gula (Angkawisittpan and Manasri, 2012), dan meneliti sifat dielektrik fluida dengan menggunakan IDCs untuk mengukur perubahan kapasitansi (Vuković Rukavina, 2014).

Interdigital capacitors terdiri dari dua pola elektroda, yaitu elektroda positif dan negatif pada bidang xy . Setiap elektroda memiliki lebar (w) dan jarak antara dua elektroda yang berdekatan adalah g . Jarak spasial periodik sel interdigital dinamakan unit sel yang dapat didefinisikan sebagai jarak antara garis tengah pada elektroda dengan elektroda terdekat yang sama.

Desain *interdigital capacitors* yang biasanya digunakan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur *interdigital capacitors* dilihat dari atas (Angkawisittpan and Manasri, 2012).

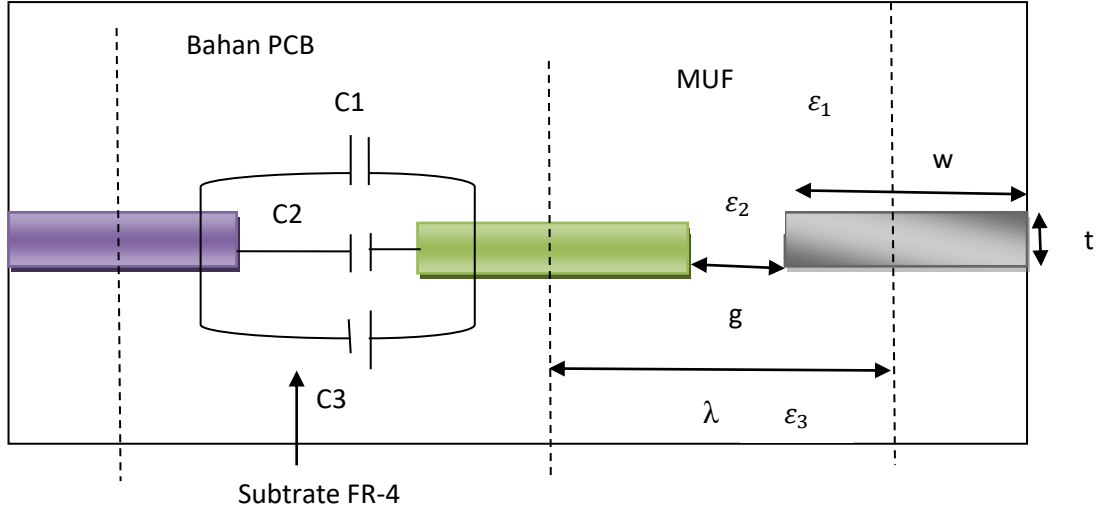
IDCs merupakan sensor yang berbasis pada elektroda kooplanar yang periodik. Secara operasional, prinsip IDCs sama halnya dengan kapasitor pelat sejajar. Akan tetapi, tidak seperti kapasitor pelat sejajar yang memiliki dua sisi, IDCs tidak memiliki dua sisi untuk mengakses material yang akan diuji.

Dengan menerapkan potensial yang berbeda pada setiap kutub elektroda, V_1 dan V_2 , menghasilkan medan listrik dari salah satu kutub elektroda, masuk pada bahan dielektrik, sebagaimana pada substrat di bawah lapisan elektroda, kemudian berpindah ke elektroda yang lain. Garis medan listrik yang dihasilkan oleh sensor akan mengubah impedansi sensor. Sehingga sensor akan berkelakuan seperti kapasitor, besarnya kapasitansi pada sensor dapat digunakan untuk menganalisis sifat dielektrik dari material yang diuji. Kapasitansi yang terukur antara elektroda bergantung pada konstanta dielektrik substrat, dielektrik film, lebar elektroda, ketebalan elektroda, dan jarak antara elektroda terdekat (Abu-Abed and Lindquist, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai sensitivitas dalam sistem perancangan IDCs adalah parameter geometri, bahan penyusun elektroda dan lapisan dielektrikum. Parameter geometri terdiri atas: lebar elektroda (w), lebar gap antar elektroda (g), panjang elektroda (L), tebal elektroda (t), dan periodik

elektroda atau satu unit sel (λ). Berdasarkan Gambar 2.7, kapasitansi IDCs ditentukan dengan menjumlahkan kapasitansi unit sel (C_{uc}) yang mewakili kapasitansi sepanjang dL , dengan $dL \ll L$. Kapasitansi unit sel diperoleh dengan menjumlahkan C_1 , C_2 , dan C_3 karena ketiganya berbentuk rangkaian paralel.

$$C_{uc} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (2.11)$$



Gambar 2.6 Konfigurasi model IDCs tampak dari samping dengan kombinasi kapasitor (Angkawisittpan and Manasri, 2012).

Dengan mengacu pada persamaan 2.8, kapasitansi yang melalui MUT (*material under test*) atau C_1 dan kapasitansi yang melalui substrat atau C_3 dapat dihitung,

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{\epsilon_1 K(\sqrt{1 - k^2})}{2 K(k)}$$

dan

$$C_3 = \epsilon_0 \frac{\epsilon_3 K(\sqrt{1 - k^2})}{2 K(k)}$$

sehingga

$$C_1 + C_3 = \epsilon_0 \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_3) K(\sqrt{1 - k^2})}{2 K(k)} \quad (2.12)$$

dengan $k = \frac{g}{\lambda}$. Di mana ϵ_1 adalah konstanta dielektrik MUT (F/m), ϵ_3 adalah konstanta dielektrik substrat (F/m), g adalah jarak antar elektroda (m), λ adalah panjang unit sel (m), dan K adalah *complete elliptic integral of the first kind*.

Nilai kapasitansi pada C_1 dan C_3 dibagi dengan angka 2 karena mewakili setengah dari medan listrik yang melalui MUT maupun substrat. Oleh karena garis medan listrik pada C_1 dan C_3 berbentuk garis lengkung yang tidak seragam sehingga menggunakan *complete elliptic integral of the first kind* dengan k adalah modulus dan $\sqrt{1 - k^2}$ adalah modulus komplementer.

Sedangkan kapasitansi di antara elektroda (C_2) dihitung dengan,

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{t}{g} \quad (2.13)$$

di mana t adalah tebal elektroda (m) dan ϵ_2 adalah konstanta dielektrik material di antara elektroda dalam kasus ini material di antara elektroda sama dengan MUT, $\epsilon_1 = \epsilon_2$. Sehingga dari persamaan 2.9 kapasitansi unit sel adalah

$$C_{uc} = \epsilon_0 \frac{(\epsilon_r + \epsilon_s)}{2} \frac{K(\sqrt{1 - k^2})}{K(k)} + \epsilon_0 \epsilon_r \frac{t}{g} \quad (2.14)$$

dimana ϵ_r adalah konstanta dielektrik MUT dan ϵ_s adalah konstanta dielektrik substrat. Dengan menggunakan kesimetrian dan mengabaikan kapasitansi di ujung, kapasitansi total IDCS dihitung dengan rumus:

$$C_{TOTAL} = C_{uc}(N - 1)L \quad (2.15)$$

dimana N adalah jumlah unit sel kapasitor dan L adalah panjang elektroda (m) (Angkawisittpan and Manasri, 2012) (Abu-Abed and Lindquist, 2008).

Pada penelitian kami menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran kapasitansi (C_{TOTAL}) dan modifikasi dari persamaan (2.14) dan (2.15) untuk menghitung konstanta dielektrik atau permitivitas relatif MUT yang diuji:

$$C_{uc} = \frac{C_{TOTAL}}{(N - 1)L} \quad (2.16)$$

Sehingga didapatkan konstanta dielektrik MUT adalah

$$\epsilon_r = \frac{2 \frac{C_{uc}}{\epsilon_0} - \epsilon_s \frac{K(\sqrt{1 - (k)^2})}{K(k)}}{\frac{K(\sqrt{1 - (k)^2})}{K(k)} + 2 \frac{t}{g}} \quad (2.17)$$

Sedangkan untuk mengetahui hubungan antara kapasitansi dan frekuensi dengan cara menghitung impedansi listrik. Impedansi merupakan ukuran penolakan terhadap arus bolak balik sinusoida. Impedansi listrik memperluas konsep reaktansi listrik, amplitude relative dari tegangan dan arus, juga fase

relatif. Dengan menganalisis impedansi akan diperoleh data hubungan antara frekuensi dengan besar dan fase impedansi. Impedansi adalah kuantitas kompleks yang dinotasikan pada persamaan di bawah ini.

$$Z_{tot} = R_{tot} + jX_{C_{tot}}$$

$$Z_{tot} = R_{tot} + \frac{1}{j\omega C_{tot}} \quad (2.18)$$

Dengan komponen resistansi adalah,

$$R_{tot} = R_r + R_L \quad (2.19)$$

di mana,

Z_{tot} = impedansi total (Ω)

R_{tot} = resistansi total (Ω)

$X_{C_{tot}}$ = reaktansi kapasitif (Ω)

C_{tot} = kapasitansi total (F)

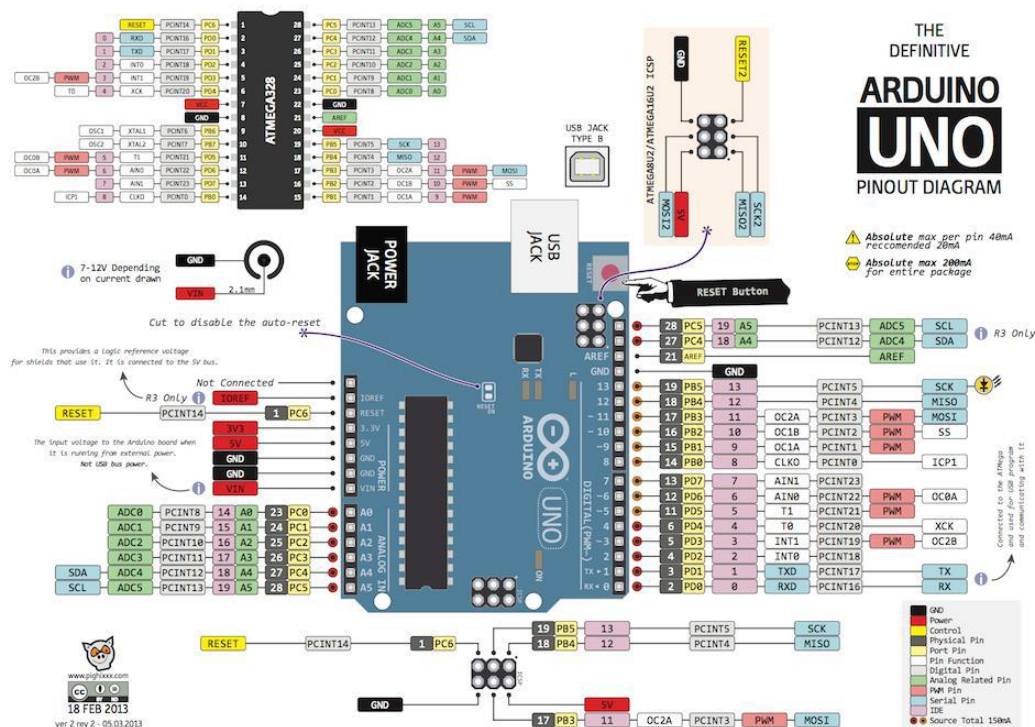
ω = frekuensi sudut (rad/s)

R_r = resistansi radiasi (Ω)

R_L = resistansi loss (Ω)

2.5 Arduino Uno

Arduino Uno dengan Atmega 328 mempunyai 14 digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan untuk PWM output), 6 analog input, 16 Mhz crystal oscillator, USB connection, power jack, ICSP header, dan reset button. Skema Arduino Uno didasarkan pada block diagram dari mikrokontroler jenis AVR ATmega328. Komponen utama di dalam papan Arduino adalah sebuah mikrokontroler 8 bit dengan merek ATmega yang dibuat oleh perusahaan Atmel Corporation. Skema Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.2. dibawah ini.



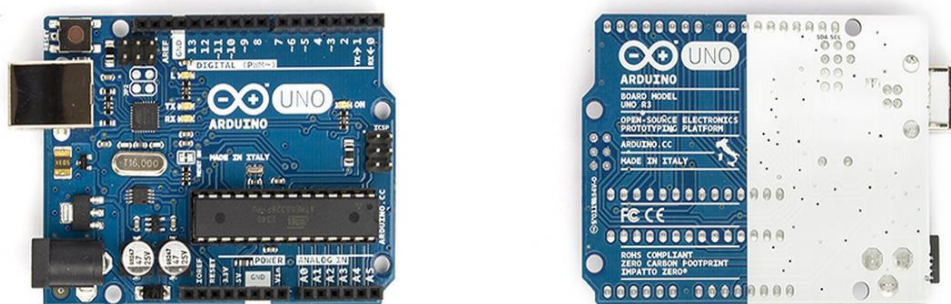
Gambar 2.7. Skema Arduino Uno

Untuk memahami Arduino, terlebih dahulu kita harus memahami terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan *physical computing*. *Physical computing* adalah membuat sebuah sistem atau perangkat fisik dengan menggunakan software dan hardware yang sifatnya interaktif yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan meresponbalik. *Physical computing* adalah sebuah konsep untuk memahami hubungan yang manusiawi antara lingkungan yang sifat alaminya adalah analog dengan dunia digital. Pada prakteknya konsep ini diaplikasikan dalam desain-desain alat atau proyek-proyek yang menggunakan sensor dan microcontroller untuk menerjemahkan input analog kedalam sistem software untuk mengontrol gerakan alat-alat elektro-mekanik seperti lampu, motor dan sebagainya.

Arduino dikatakan sebagai sebuah *platform* dari *physical computing* yang bersifat *open source*. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata *platform* di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-

compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memory microcontroller. Ada banyak proyek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi. Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang open source, baik untuk hardware maupun software-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang. Anda bisa bebas mendownload gambarnya, membeli komponen-komponennya, membuat PCB-nya dan merangkainya sendiri tanpa harus membayar kepada para pembuat Arduino. Sama halnya dengan IDE Arduino yang bisa di-download dan diinstal pada komputer secara gratis.

Saat ini komunitas Arduino berkembang dengan pesat dan dinamis di berbagai belahan dunia. Berbagai macam kegiatan yang berkaitan dengan proyek-proyek Arduino bermunculan dimana-mana, termasuk di Indonesia. Yang membuat Arduino dengan cepat diterima oleh komunitas instrumen adalah karena harganya akan lebih murah dibandingkan dengan modul yang lain, mudah pengoperasiannya, library cukup banyak diinternet karena bersifat open source, dan koneksi dengan devais yang lain cukup mudah. Dibawah ini adalah modul Arduino Uno.



Gambar 2.8. Modul Arduino Tampak Depan dan Belakang

Secara umum Arduino terdiri dari dua bagian, yaitu:

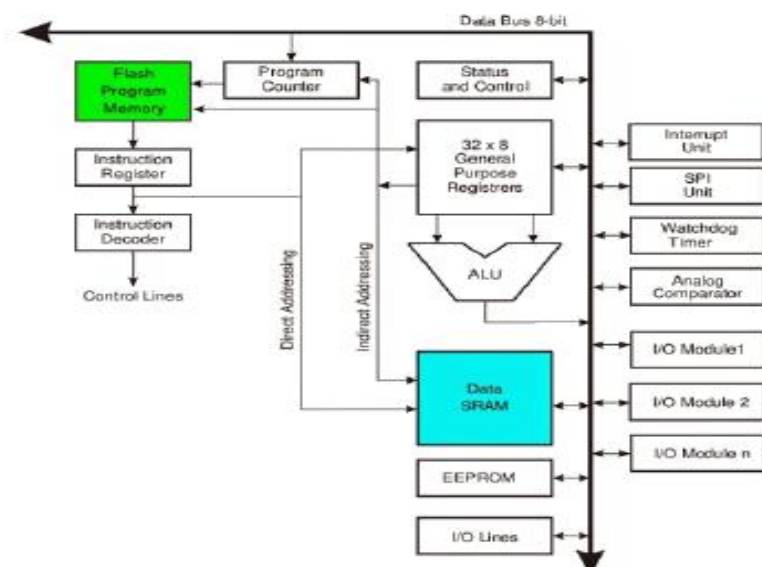
1. Hardware _ papan input/output (I/O)
2. Software _ Software Arduino meliputi IDE untuk menulis program, driver untuk koneksi dengan komputer, contoh program dan library untuk pengembangan program.

Selanjutnya kita akan mengenal masing-masing bagian ini lebih jauh.

1. Hardware

Komponen utama di dalam papan Arduino adalah sebuah microcontroller 8 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh perusahaan Atmel Corporation. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan Atmega 328 sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan Atmega 2560.

Untuk memberikan gambaran mengenai apa saja yang terdapat di dalam sebuah microcontroller, pada gambar berikut ini diperlihatkan contoh diagram blok sederhana dari microcontroller Atmega 328 (dipakai pada Arduino Uno).



Gambar 2.9 Arsitektur Arduino Uno

Spesifikasi Arduino Uno	ATmega328
Microcontroller	
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

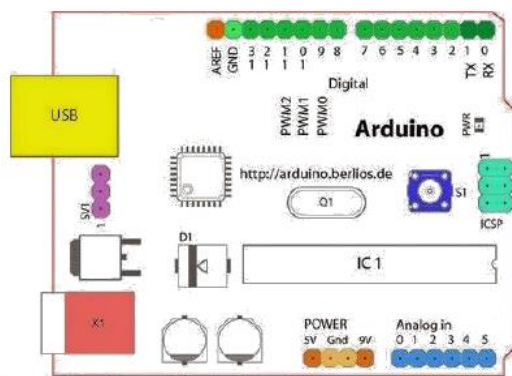
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Blok-blok di atas dijelaskan sebagai berikut:

- a. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- b. 2KB RAM pada memory kerja bersifat volatile (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- c. 32KB RAM flash memory bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, flash memory juga menyimpan bootloader.
- d. Bootloader adalah program inisiasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah bootloader selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.
- e. 1KB EEPROM bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan Arduino.
- f. Central Processing Unit (CPU), bagian dari microcontroller untuk menjalankan setiap instruksi dari program.

- g. Port input/output, pin-pin untuk menerima data (input) digital atau analog, dan mengeluarkan data (output) digital atau analog.

Setelah mengenal bagian-bagian utama dari microcontroller ATmega sebagai komponen utama, selanjutnya kita akan mengenal bagian-bagian dari papan Arduino itu sendiri.



Gambar 2.10. Bagian-bagian Utama Arduino

- a. 14 pin input/output digital (0-13)

Berfungsi sebagai input atau output, dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, dapat juga berfungsi sebagai pin analog output dimana tegangan output-nya dapat diatur. Nilai sebuah pin output analog dapat diprogram antara 0 – 255, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5V.

- b. USB

Berfungsi untuk:

- Memuat program dari komputer ke dalam papan
- Komunikasi serial antara papan dan komputer
- Memberi daya listrik kepada papan

- c. Sambungan SV1

Sambungan atau jumper untuk memilih sumber daya papan, apakah dari sumber eksternal atau menggunakan USB. Sambungan ini tidak diperlukan lagi pada papan Arduino versi terakhir karena pemilihan sumber daya eksternal atau USB dilakukan secara otomatis.

d. Q1 – Kristal (quartz crystal oscillator)

Jika microcontroller dianggap sebagai sebuah otak, maka kristal adalah jantung-nya karena komponen ini menghasilkan detak-detak yang dikirim kepada microcontroller agar melakukan sebuah operasi untuk setiap detak-nya. Kristal ini dipilih yang berdetak 16 juta kali per detik (16MHz).

e. Tombol Reset S1

Untuk me-reset papan sehingga program akan mulai lagi dari awal. Perhatikan bahwa tombol reset ini bukan untuk menghapus program atau mengosongkan microcontroller.

f. In-Circuit Serial Programming (ICSP)

Port ICSP memungkinkan pengguna untuk memprogram microcontroller secara langsung, tanpa melalui bootloader. Umumnya pengguna Arduino tidak melakukan ini sehingga ICSP tidak terlalu dipakai walaupun disediakan.

g. IC 1 – Microcontroller Atmega

Komponen utama dari papan Arduino, di dalamnya terdapat CPU, ROM dan RAM.

h. X1 – sumber daya eksternal

Jika hendak disuplai dengan sumber daya eksternal, papan Arduino dapat diberikan tegangan DC antara 9-12V.

i. 6 pin input analog (0-5)

Pin ini sangat berguna untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog, seperti sensor suhu. Program dapat membaca nilai sebuah pin input antara 0 – 1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5V.

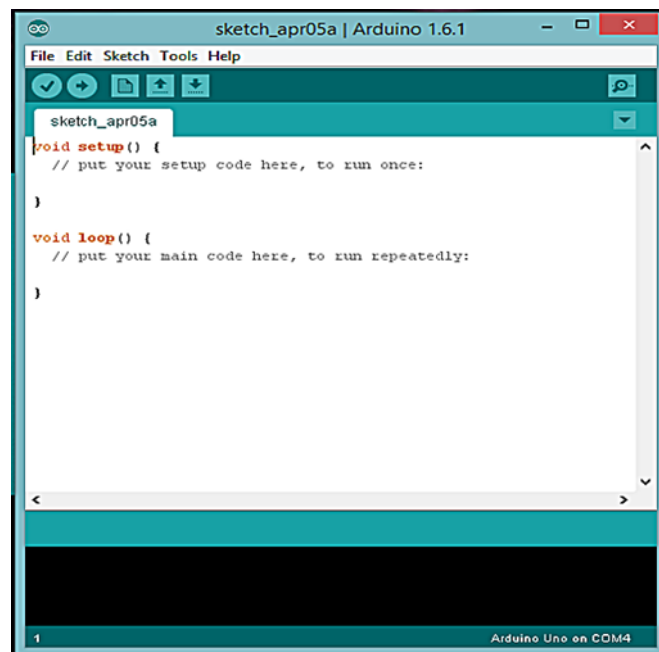
2. Software

Dalam penggunaan Arduino ini, tentunya selain menggunakan hardware maka perlu dukungan software-nya. Adapun software Arduino yang akan digunakan adalah driver dan IDE, walaupun masih ada beberapa software lain yang sangat berguna selama pengembangan Arduino. Software dapat di download pada alamat <http://arduino.cc/en/Main/Software>.

IDE Arduino adalah software yang sangat canggih, ditulis menggunakan Java, IDE Arduino terdiri atas:

- a. Editor program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menuliskan mengetik program dalam bahasa processing.
- b. Compiler, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa processing) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami bahasa processing, yang bisa dipahami adalah kode biner. Itulah sebabnya compiler diperlukan dalam hal ini.
- c. Uploader, sebuah modul yang computer kedalam memory di dalam papan Arduino (Yuwono, 2015).

Tampilan IDE Arduino dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.11. Tampilan IDE Arduino

2.6 Pengukuran berulang dan standar deviasi.

2.6.1 Pengukuran berulang

Pengukuran berulang adalah pengukuran yang dilakukan tidak hanya sekali, melainkan berulang-ulang supaya mendapatkan ketelitian yang maksimal dan akurat, Pengukuran berulang digunakan ketika dalam proses mengukur mendapatkan hasil yang berbeda-beda dari segi pandang, baik dari segi pengamat (pengukur) maupun dari segi obyek yang diukur. Ketika melakukan pengukuran tunggal, ketelitian atau ketidakpastian yang diperoleh adalah setengah dari skala

terkecil. Dalam pengukuran berulang , pernyataan ini tidak berlaku melainkan menggunakan simpangan baku (s).

Hasil pengukuran Panjang suatu benda dapat berbeda-beda jika dilakukan berulang-ulang. Laporan hasil pengukurannya berupa rata-rata nilai hasil pengukuran dengan ketidakpastian yang sama dengan simpangan bakunya.

Sebagai contoh hasil pengukuran panjang sebuah benda sebanyak n kali adalah $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$, Nilai rata-ratanya, yaitu

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n} \quad 2.20$$

dengan n adalah jumlah data yang diukur dan \bar{x} adalah nilai rata-rata hasil pengukuran , Simpangan bakunya dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad 2.21$$

Oleh karena itu hasil pengukuran dapat ditulis sebagai menjadi

$$X = \bar{x} \pm S_x \quad 2.22$$

Ketidakpastian pengukuran berulang sering dinyatakan dalam persen atau disebut ketidakpastian relatif. Secara matematis ditulis sebagai berikut

$$\text{Ketidakpastian relatif} = \frac{\Delta X}{x} \times 10\% \quad 2.23$$

dengan: ΔX = ketidakpastian , x = data hasil pengukuran

2.6.2 Standar deviasi

Bila dalam pengamatan dilakukan n kali pengukuran dari besaran x dan terkumpul dalam data $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$, maka rata-rata dari besaran ini adalah

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \{ (X_1 - \mu)^2 + (X_2 - \mu)^2 + \dots + (X_N - \mu)^2 \}} \quad 2.24$$

$$\text{dimana } \mu = \frac{1}{N} (X_1 + \dots + X_N)$$

kesalahan dari nilai rata-rata ini terhadap nilai sebenarnya besaran x dinyatakan oleh standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2} \quad 2.25$$

$$\text{dimana } \mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Standar deviasi diberikan oleh persamaan diatas, sehingga kita hanya dapat mengatakan bahwa nilai sebenarnya dari besaran x terletak dalam selang $(X - S)$ sampai $(X + S)$. Dan untuk penulisan hasil pengukuran adalah $X = x \pm S$.

Error pengukuran berulang dapat diperoleh dari :

$$\text{Standar error} = \frac{s}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad 2.26$$

dengan, s = standar deviasi

n= banyaknya data

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian dan Tempat Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian eksperimental dan tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Instrumentasi ITS .

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri atas dua bagian yaitu perancangan rangkaian sistem sensor dan pengukuran permitivitas *crude oil*

1. Bahan IDCs: FR-4 PCB *Board*
2. Alat dan bahan perancangan sistem sensor adalah:
 - a. Arduino Uno (1 buah)
 - b. Kabel USB tipe B (1 buah)
 - c. Beberapa kapasitor yang sudah diketahui nilainya
 - d. Kabel jumper (8 buah)
 - e. *Breadboard* (1 buah)
 - f. Laptop/komputer (1 buah)
3. Alat dan bahan pengukuran permitivitas bahan uji (*Crude oil*) adalah:
 - a. 4 buah sensor IDCs dari bahan FR-4 PCB
 - b. Rangkaian sistem sensor
 - c. PM 6303 RCL meter Phillip type A
 - d. Wadah *crude oil*
 - e. *Crude oil* A, B dan C

3.3 Parameter Observasi

- a. Nilai kapasitansi

Nilai kapasitansi *crude oil* diukur menggunakan sensor IDCs yang dimasukkan kedalam masing-masing sampel. Sensor ini dihubungkan

dengan rangkaian sistem sensor yang telah dibuat. Nilai kapasitansi yang terukur akan ditampilkan pada layer Laptop/komputer.

b. Nilai konstanta dielektrik

Hasil pengukuran nilai kapasitansi *crude oil* digunakan untuk menghitung nilai konstanta dielektrik atau permitivitas relative dengan menggunakan persamaan 2.16 dan 2.17 pada bab 2., yaitu

$$C_{uc} = \frac{C_{TOTAL}}{(N - 1)L}$$

$$\text{dan } \epsilon_r = \frac{2 \frac{C_{uc}}{\epsilon_0} - \epsilon_s \frac{K(\sqrt{1-(k)^2})}{K(k)}}{\frac{K(\sqrt{1-(k)^2})}{K(k)} + 2 \frac{t}{g}}$$

3.4 Prosedur Penelitian

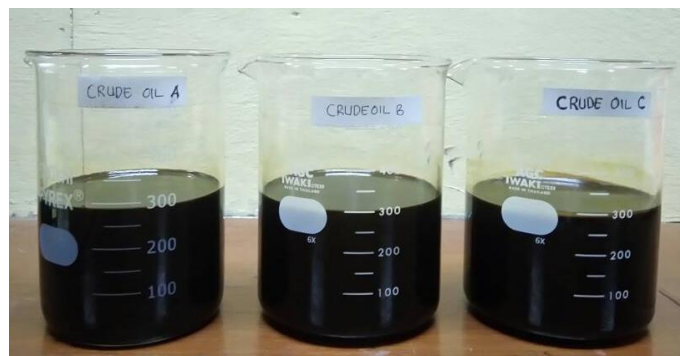
Prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahapan. Tahapan pertama adalah studi literature dan pengambilan sampel *crude oil*. Tahapan kedua adalah perancangan sistem pengukuran permitivitas bahan uji. Secara rinci akan dijelaskan sebagai berikut:

3.4.1 Studi Literatur dan Pengambilan Sampel *Crude Oil*

Studi literature dilakukan dengan membaca dan mereview beberapa jurnal nasional maupun internasional dan buku yang sesuai dengan topic penelitian. Hasil review berupa dasar teori yang telah dituliskan pada Bab 2.

Pengambilan sampel *crude oil* dilakukan bersama tim penelitian pascasarjana ke PT Pertamina EP di Cepu (TBR1). Sampel *crude oil* yang diberikan berasal dari tiga sumur yaitu, sumur A, B dan C masing-masing 3 liter. Ketiga sampel *crude oil* memiliki kandungan yang hampir sama, yang membedakan adalah tekanan pada masing-masing sumur. Selain pengambilan sampel, tim penelitian pascasarjana juga melakukan wawancara dengan supervisor PT Pertamina EP di Cepu (TBR1). Hasil wawancara tim penelitian pascasarjana dengan supervisor PT Pertamina EP di Cepu, mendapatkan beberapa informasi tentang kandungan dan pengolahan *crude oil* sebagai berikut. TBR1 memiliki 3 sumur yang diberi nama sumur A, B, dan C. Masing-masing sumur memiliki

diameter yang sama dan kedalaman yang berbeda-beda. Sumur A memiliki kedalaman 1500 ft, sumur B memiliki kedalaman 1500-2000 ft dan sumur yang paling dalam adalah sumur C. Fasilitas yang terdapat di Pertamina EP Cepu meliputi proses pengambilan *crude oil* dari reservoir serta pemisahan penyusun *crude oil*. Pengambilan minyak dilakukan dengan menggunakan metode *natural flowing* dengan suhu didalam sumur 60 - 100°F. Metode ini dilakukan karena tekanan gas didalam sangat besar sehingga mampu mengangkat *crude oil* ke permukaan. Tekanan di sumur A yaitu 1500 psi, sumur B yaitu 1400 psi dan di sumur C berkisar antara 1700 psi. Meskipun tekanan gas disetiap sumur berbeda, namun jenis minyak yang dihasilkan adalah sama. Adapun karakteristik minyak mentah yang dihasilkan yaitu terdiri dari air, minyak, dan gas dengan kandungan parafin dan sulfur yang tinggi. Jika *crude oil* memiliki derajat kekentalan yang tinggi, hal tersebut menunjukkan kandungan parafin pada *crude oil* juga tinggi. Hal ini menyebabkan *crude oil* berbentuk gel pada suhu tertentu, sehingga diperlukan pemanasan pada *crude oil*. Pemanasan yang dilakukan yaitu menggunakan *steam boiler* dengan kapasitas uap yang dihasilkan 3 ton/jam dengan suhu 70°C. Hal ini menunjukkan bahwa uap yang dihasilkan adalah uap basah.



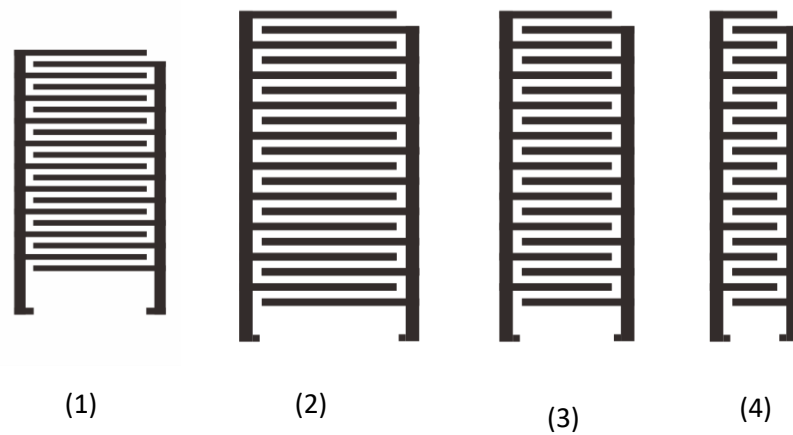
Gambar 3.1 Sampel *crude oil* yang berasal dari sumur A, B dan C.

Untuk mendapatkan minyak yang dapat digunakan sehari-hari, PT Pertamina EP Cepu memiliki fasilitas pemisahan terhadap kandungan-kandungan minyak mentah tersebut hingga didapatkan minyak tanpa kandungan gas H_2S . Pemisahan kandungan H_2S dilakukan dengan metode *chemical injection*, bahankimia yang digunakan yaitu Simika. Gas yang telah dipisahkan, dibuang dan

dibakar melalui cerobong asap. Hal ini dikarenakan Pertamina EP belum memiliki fasilitas untuk memanfaatkan gas H_2S . Setelah pemisahan selesai dilakukan, maka diperoleh minyak yang masih bercampur dengan air. Minyak yang masih bercampur dengan air ini kemudian dikirim ke P3 Menggung sebagai tempat penampungan minyak dengan hasil produksi 1000 barel/hari. Proses selanjutnya yaitu pengujian minyak untuk mengetahui viskositas dan permitivitas *crude oil*.

3.4.2. Desain IDCs dari bahan FR-4 PCB

Desain sensor IDCs yang digunakan adalah dari bahan elektroda FR-4 PCB dapat ditunjukkan pada gambar dan tabel spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 3.2 Desain IDCs FR-4 PCB yang telah dibuat dengan lebar elektroda (w), jarak antar elektroda (g), panjang elektroda (L), jumlah elektroda (n)

Tabel. 3.1 Spesifikasidesain IDCs FR-4 PCB.

Parameter	Jenis Sensor			
	1	2	3	4
Lebar elektroda (w)	0.75 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Tebal elektroda (t)	1 μ m	1 μ m	1 μ m	1 μ m
Jarak antar elektroda (g)	0.75 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Panjang elektroda (L)	15 mm	15 mm	10 mm	5 mm
Panjang satu unit sel (λ)	3 mm	4 mm	4 mm	4 mm
Jumlah elektroda (n)	20 buah	20 buah	20 buah	20 buah
Jumlah unit sel (N)	10 buah	10 buah	10 buah	10 buah

3.4.2 Perancangan Rangkaian Sistem Sensor

Rangkaian sistem sensor digunakan untuk menghubungkan IDCs dengan larutan yang akan diukur nilai kapasitansinya sehingga data digitalnya dapat ditampilkan pada layar komputer. Tahapan pembuatan rangkaian sistem sensor adalah sebagai berikut.

1. Membuat desain rangkaian yang sesuai menggunakan *software* proteus.
2. Merangkai komponen-komponen elektronik sesuai dengan desain yang dibuat dalam proteus.
3. Menjalankan rangkaian dengan membuat bahasa pemrograman pada *software* arduino
4. Packaging rangkaian yang telah dibuat.

3.4.3 Pengukuran kapasitansi IDCS dan *crude oil*

1. Kalibrasi rangkaian sistem sensor dengan PM 6303A RCL meter type Phillip

Kalibrasi rangkaian sistem sensor dilakukan dengan cara mengukur kapasitansi beberapa kapasitor yang sudah diketahui nilai kapasitansinya menggunakan rangkaian sistem sensor yang telah dibuat.

Hasilnya dibandingkan dengan pengukuran beberapa kapasitor tersebut dengan menggunakan RCL meter.

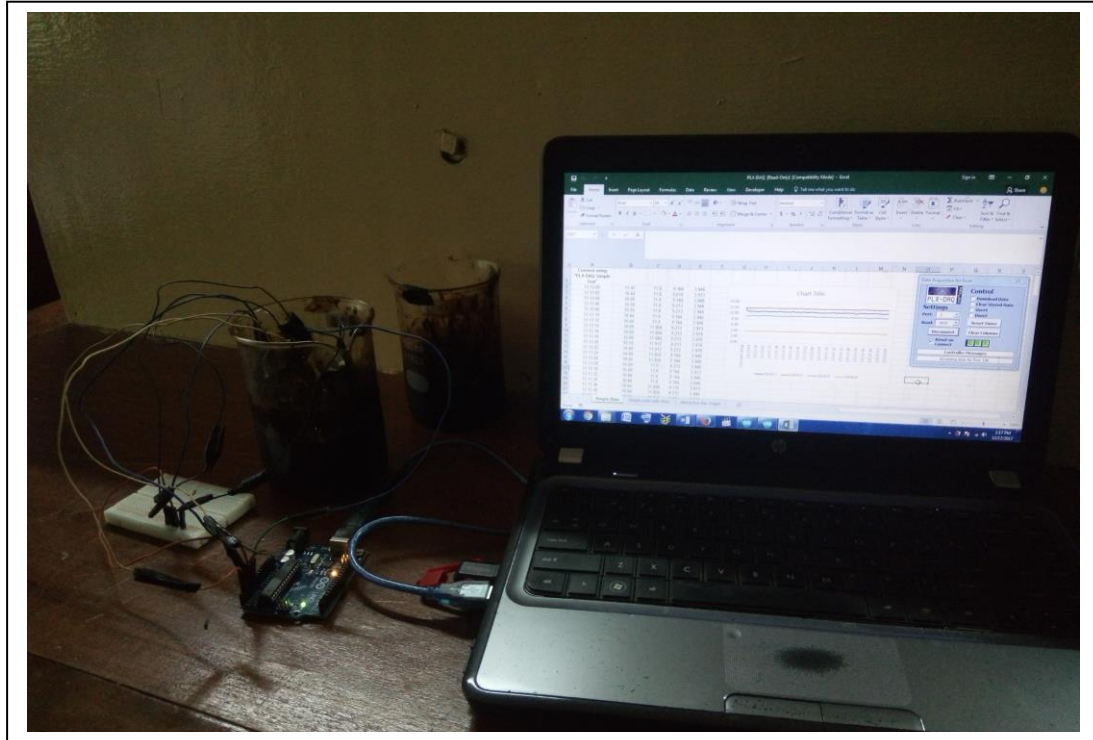


Gambar 3.3 PM 6303A RCL meter type Phillip

2. Pengukuran konstanta dielektrik *crude oil* menggunakan sensor IDCs dan rangkaian sistem sensor

Dilakukan dengan cara: pertama, pengukuran kapasitansi *crude oil* menggunakan sensor IDCs dan rangkaian sistem sensor. Sensor IDCs

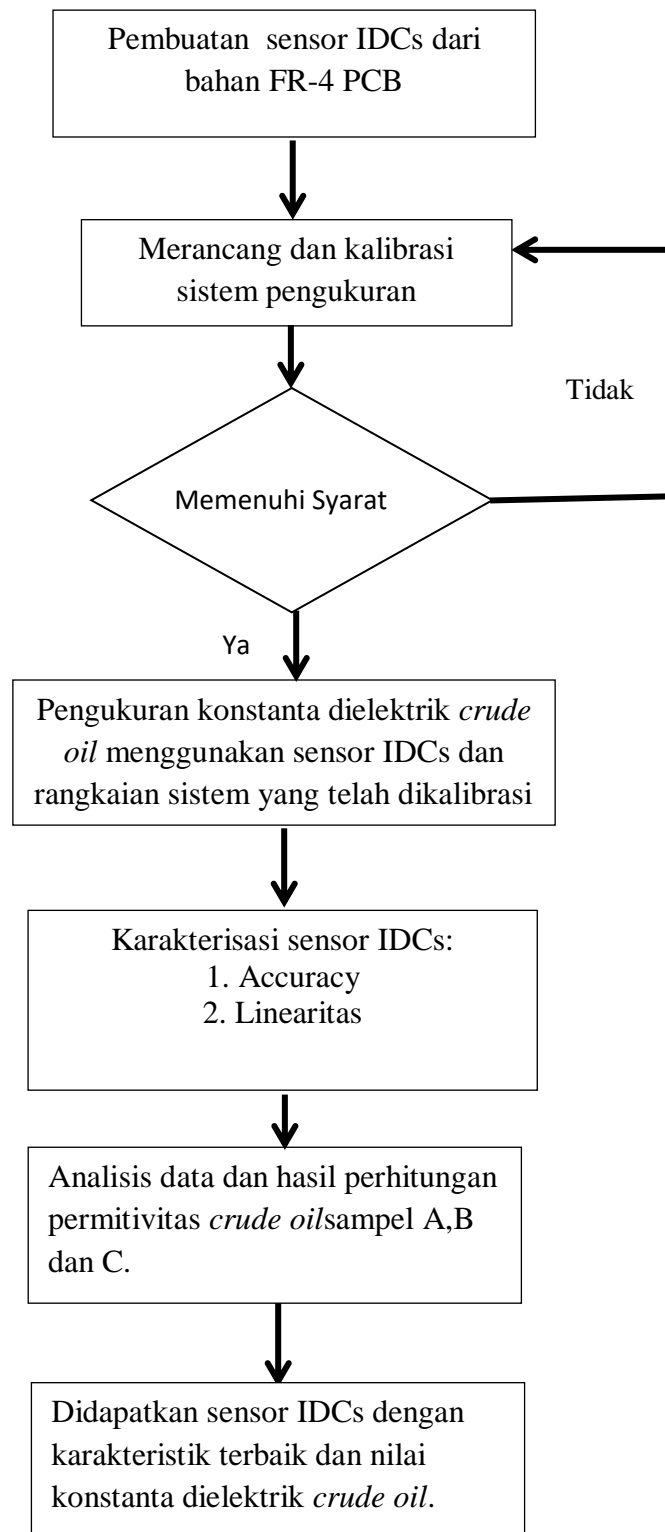
dihubungkan dengan rangkaian sistem sensor dan dimasukkan ke dalam kotak sampel yang berisi *crude oil*. Nilai kapasitansi *crude oil* akan ditampilkan pada layar komputer/laptop.



Gambar 3.4 Sistem pengukuran kapasitansi *crude oil* secara simultan menggunakan 4 buah sensor IDCs.daribahan FR-4 PCB.

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa sensor IDCs dari bahan FR-4 PCB ada 4 buah masing-masing memiliki nilai kapasitansi yang berbeda , setelah diukur dengan PM 6303 RCL meter Phillip type A maka nilai sensor IDCs S1= 9.3 PF, sensor IDCs S2= 8.7 PF, sensor IDCs S3= 6.2 PF, sensor IDCs S4= 3.9 PF.sedangkan pin/port pada Arduino yang digunakan sebagai inputpada port analog adalah port A0, A1, A2, A3, A4 dan A5 dan port digital yang digunakan sebagai output analog adalah port 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, atau dapat juga port analog digunakan sebagai output. Pada penelitian ini hanya digunakan 5 port analog, yaitu 4 port analog sebagai input dan 1 port analog sebagai output.

Tahapan ketiga penelitian ini adalah pengukuran permitivitas *crude oil* dengan menggunakan 4 buah Sensor IDCs dari bahan FR-4 PCB. Berikut ini diagram alir proses pengukuran.



Gambar 3.5 Diagram alir proses akuisisi data dan karakteristik sensor

3.4.5 Perhitungan error pengukuran permitivitas IDCs

Permitivitas bahan yang diukur menggunakan IDCs, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{UC} = C_{Total}/(N-1)L$$

$$\epsilon_2 = \frac{\frac{C_{uc}}{\epsilon_0} - \frac{\epsilon_3 K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}}{\frac{h}{b} + \frac{K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}} \quad (3.1)$$

Untuk mengetahui error permitivitas bahan IDCs terhadap permitivitas udara, maka dapat ditetapkan permitivitas udara secara teori nilainya adalah 1.

Misalnya dengan menggunakan IDCS dengan lebar elektroda (a) 0.75mm, lebar gap(b) 0.75mm, $\epsilon_3 = 4,75$ F/m, panjang elektroda 15mm, ketebalan elektroda (h) 1 μ m dan jumlah unit sel 19 buah dan mengukur nilai kapasitansi udara sebesar 9.2 pF.

Maka;

$$\begin{aligned} C_{UC} &= C/(N-1)L \\ &= \frac{9.2 \times 10^{-12} \text{ Farad}}{(20-1) 0,015 \text{ m}} \\ &= 32.28 \times 10^{-12} \text{ Farad/m} \end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned} k &= \frac{b}{a+b} \\ k &= \frac{0.75 \text{ mm}}{0.75 \text{ mm} + 0.75 \text{ mm}} \\ k &= 0.25 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *complete elliptic integral of the first kind* didapatkan:

$$\begin{aligned} K(\sqrt{k^2}) &= K(0,25) = 1,69 \\ K\sqrt{1-k^2} &= K(0,97) = 2,16 \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga, } \varepsilon_2 = \frac{\frac{Cuc}{\varepsilon_0} - \frac{\varepsilon_3 K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}}{\frac{h}{b} + \frac{K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\frac{32.28}{0.000001} - \frac{4.75 \times 2.16}{2 \times 1.69}}{\frac{8.85}{0.00075} + \frac{2 \times 1.69}{2 \times 1.69}}$$

$$\varepsilon_2 = 0.96$$

Perhitungan *error* terhadap nilai referensi, digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{error} &= \left| \frac{\text{teori} - \text{eksperimen}}{\text{teori}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1 - 0.96}{1} \right| \times 100\% \\ &= 4\% \end{aligned} \tag{3.2}$$

Sehingga didapatkan *error* pengukuran terhadap nilai referensi adalah sebesar 4 persen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini dijelaskan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang dibagi menjadi tiga bagian. Pertama, proses pengukuran permitivitas *crude oil* sampel A, B dan C menggunakan IDCs dengan bantuan sistem pengukuran berbasis Arduino Uno ATmega 328. Kedua, perhitungan rata-rata pengukuran permitivitas dan standar deviasi pengukuran *crude oil* dari sampel A, B dan C. Ketiga, error pengukuran permitivitas secara simultan dari ketiga sampel dengan menggunakan IDCs.

4.1 Proses pengukuran permitivitas *crude oil* A, B dan C

Setelah pengukuran secara simultan nilai kapasitansi pada sampel A, B dan C dengan menggunakan 4 buah sensor IDCs. Sensor IDCs terbuat dari bahan FR-4 PCB yang memiliki nilai kapasitansi yang berbeda-beda. Secara otomatis perhitungan kapasitansi dilakukan dengan memasukkan persamaan 2.16 dan persamaan 2.17 untuk tiga sampel *crude oil*.

4.1.1 Hasil perhitungan permitivitas *crude oil* A.

A. Perhitungan Permitivitas *Crude oil* A dengan Microsoft Excel.

Nilai total kapasitansi pada tabel 4.1 diambil dari rata-rata data nilai kapasitansi sensor IDCs S1, Sensor IDCs S2, sensor IDCs S3, dan sensor IDCs S4 yang diperoleh dari hasil sistem pengukuran dengan menggunakan Arduino uno ATmega 328 seperti data terlampir. Jumlah data ada 80 data, untuk analisis diambil rata-rata 10 data untuk mewakili data sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.1, yaitu tabel 4.1 a. data ke (1 -10), tabel 4.1 b data ke (11 – 20), tabel 4.1 c data ke (21 -30), tabel 4.1 d data ke (31 -40), tabel 4.1 e data ke (41- 50), tabel 4.1 f data ke (51 – 60), tabel 4.1 g data ke (61 – 70), tabel 4.1 h data ke (71 -80).

Tabel 4.1 Nilai permitivitas *crude oil* A dari multi sensor IDCs.

a. Tabel data ke 1, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 1 s/d ke 10)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.54	78.07	0.25	0.97	1.60	2.80	5.30
S 2	13.56	100.44	0.25	0.97	1.60	2.80	8.17
S 3	8.07	96.33	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S 4	4.74	105.33	0.25	0.97	1.60	2.80	8.80

b. Tabel data ke 2, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 11 s/d ke 20)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.42	77.19	0.25	0.97	1.60	2.80	5.18
S 2	13.49	99.93	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11
S 3	8.60	95.56	0.25	0.97	1.60	2.80	7.54
S 4	4.77	106.00	0.25	0.97	1.60	2.80	8.89

c. Tabel data ke 3, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 21 s/d 30)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.45	77.41	0.25	0.97	1.60	2.80	5.21
S 2	13.52	100.15	0.25	0.97	1.60	2.80	8.13
S 3	8.71	96.78	0.25	0.97	1.60	2.80	7.70
S 4	4.76	105.78	0.25	0.97	1.60	2.80	8.86

d. Tabel data ke 4, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 31 s/d 40)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.40	77.04	0.25	0.97	1.60	2.80	5.16
S 2	13.49	99.93	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11
S 3	8.69	96.56	0.25	0.97	1.60	2.80	7.67
S 4	4.75	105.56	0.25	0.97	1.60	2.80	8.83

e. Tabel data ke 5, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 41 s/d 50)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.41	77.11	0.25	0.97	1.60	2.80	5.17
S 2	13.49	99.93	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11
S 3	8.70	96.67	0.25	0.97	1.60	2.80	7.69
S 4	4.76	105.78	0.25	0.97	1.60	280	8.86

f. Tabel data ke 6, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 51 s/d 60)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.46	77.48	0.25	0.97	1.60	2.80	5.22
S 2	13.52	100.15	0.25	0.97	1.60	2.80	8.13
S 3	8.71	96.78	0.25	0.97	1.60	2.80	7.70
S 4	4.75	105.56	0.25	0.97	1.60	2.80	8.83

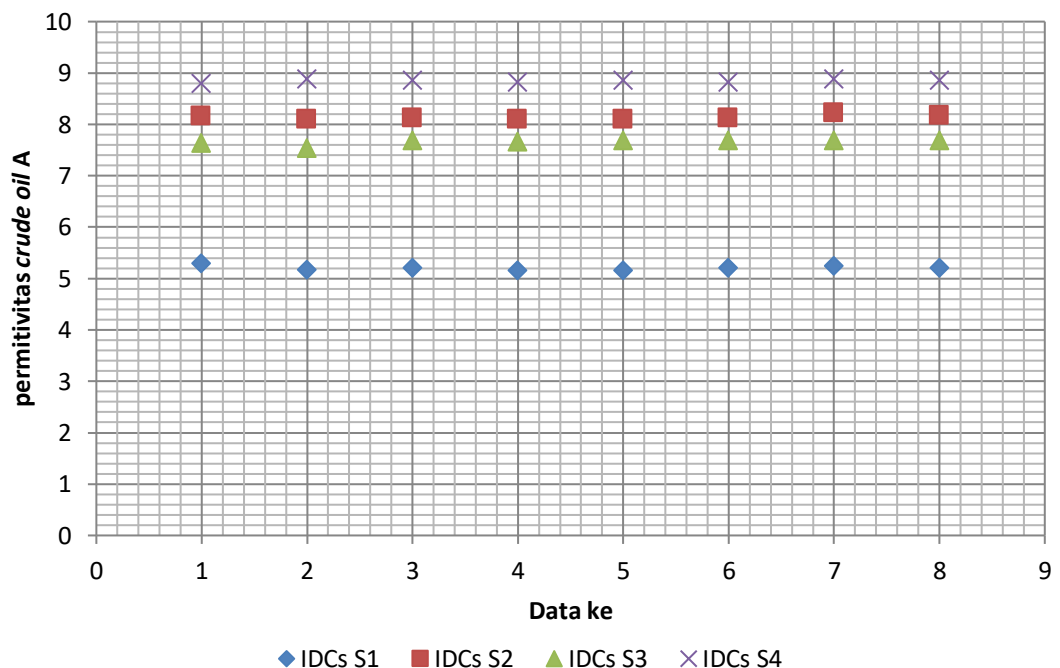
g. Tabel data ke 7, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 61 s/d 70)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.49	77.70	0.25	0.97	1.60	2.80	5.25
S 2	13.62	100.89	0.25	0.97	1.60	2.80	8.23
S 3	8.71	96.78	0.25	0.97	1.60	2.80	7.70
S 4	4.77	106.00	0.25	0.97	1.60	2.80	8.89

h. Tabel data ke 8, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 71 s/d 80)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S 1	10.45	77.41	0.25	0.97	1.60	2.80	5.21
S 2	13.57	100.52	0.25	0.97	1.60	2.80	8.18
S 3	8.71	96.78	0.25	0.97	1.60	2.80	7.70
S 4	4.76	105.78	0.25	0.97	1.60	2.80	8.86

Dari table 4.1(a) – 4.1 (h) di atas dapat dibuat grafik sebagai berikut



Gambar 4.1 Grafik perhitungan permitivitas *crude oil* A, dari data ke 1 s/d data ke 8

Gambar 4.1 di atas menunjukkan nilai permitivitas relatif *crude oil* A yang dihitung menggunakan nilai kapasitansi hasil pengukuran *crude oil* dari multi sensor IDCs. Dari grafik tersebut terlihat bahwa sensor IDCs S4 nilainya mendekati konstan sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S4 lebih diunggulkan untuk mengukur permitivitas *crude oil* A.

A. Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas *crude oil* sampel A

Nilai permitivitas *crude oil* dari keempat sensor IDCs dapat ditulis dalam tabel sebagai berikut:

Tabel.4.2 Nilai permitivitas dari data ke 1 s/d data ke 80 pada *crude oil* A.

Permitivitas (ϵ_r) *crude oil* A

Sensor IDCs	Data ke							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S 1	5.30	5.18	5.21	5.16	5.17	5.22	5.25	5.21
S 2	8.17	8.11	8.13	8.11	8.11	8.13	8.23	8.18
S 3	7.64	7.54	7.70	7.67	7.69	7.70	7.70	7.70
S 4	8.80	8.89	8.86	8.83	8.86	8.83	8.89	8.86

Hasil perhitungan nilai rata-rata permitivitas dan nilai standar deviasi permitivitas *crude oil* A pada tabel diatas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai rata-rata permitivitas dan standar deviasi permitivitas *crude oil* A.

Sensor IDCs	Rata-rata Permitivitas	Standar Deviasi Permitivitas
S 1	5.21	0.05
S 2	8.15	0.04
S 3	7.67	0.06
S 4	8.85	0.03

Dari table 4.3 di atas dapat diketahui bahwa nilai standar deviasi permitivitas *crude oil* A yang lebih kecil adalah sensor IDCs S4 yaitu nilainya 0.03. Hal ini menunjukkan bahwa ketika digunakan mengukur permitivitas *crude oil* A sensor IDCs S4 lebih stabil dibandingkan dengan sensor IDCs lainnya.

4.1.2 Hasil perhitungan permitivitas *crude oil* sampel B

A. Perhitungan permitivitas *crude oil* B dengan Microsoft exel.

Nilai total kapasitansi pada tabel 4.4 diambil dari rata-rata data nilai kapasitansi sensor IDCs S1, sensor IDCs S2, sensor IDCs S3, dan sensor IDCs S4 yang diperoleh dari hasil sistem pengukuran dengan menggunakan Arduino uno ATmega 328 seperti data terlampir. Jumlah data ada 80 data, untuk analisis diambil rata-rata 10 data, dari data ke 1 s/d data ke 80, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.4, yaitu tabel 4.4 a. data ke (1 -10), tabel 4.4 b data ke (11 – 20), tabel 4.4 c data ke (21 -30), tabel 4.4 d data ke (31 -40), tabel 4.4 e data ke (41-50), tabel 4.4 f data ke (51 – 60), tabel 4.4 g data ke (61 – 70), tabel 4.4 h data ke (71 -80).

Tabel 4.4 Nilai permitivitas *crude oil* B dari multi sensor IDCs.

a. Tabel data ke 1, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke1 s/d ke 10)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.40	99.26	0.25	0.97	1.60	2.80	8.02
S2	11.73	86.89	0.25	0.97	1.60	2.80	6.43
S3	8.07	89.67	0.25	0.97	1.60	2.80	6.79
S4	4.17	92.67	0.25	0.97	1.60	2.80	7.17

b. Tabel data ke 2, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 11 s/d ke 20)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.07	96.81	0.25	0.97	1.60	2.80	7.71
S2	11.71	86.74	0.25	0.97	1.60	2.80	6.41
S3	8.04	89.33	0.25	0.97	1.60	2.80	6.74
S4	4.17	92.67	0.25	0.97	1.60	2.80	7.17

c. Tabel data ke 3, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 21 s/d 30)

Sensor	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ε_r
S1	13.11	97.11	0.25	0.97	1.60	2.80	7.74
S2	11.69	86.59	0.25	0.97	1.60	2.80	6.39
S3	8.04	89.33	0.25	0.97	1.60	2.80	6.74
S4	4.18	93.89	0.25	0.97	1.60	2.80	7.20

d. Tabel data ke 4, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 31 s/d 40)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ε_r
S1	13.14	97.33	0.25	0.97	1.60	2.80	7.77
S2	11.77	87.19	0.25	0.97	1.60	2.80	6.47
S3	8.05	89.44	0.25	0.97	1.60	2.80	6.76
S4	4.20	93.33	0.25	0.97	1.60	2.80	7.26

e. Tabel data ke 5, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 41s/d ke 50).

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ε_r
S1	13.07	96.81	0.25	0.97	1.60	2.80	7.71
S2	11.64	86.22	0.25	0.97	1.60	2.80	6.34
S3	7.98	88.67	0.25	0.97	1.60	2.80	6.66
S4	4.15	92.22	0.25	0.97	1.60	2.80	7.11

f. Tabel data ke 6, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 51 s/d ke 60)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ε_r
S1	13.07	96.81	0.25	0.97	1.60	2.80	7.71
S2	11.72	86.81	0.25	0.97	1.60	2.80	6.42
S3	8.05	89.44	0.25	0.97	1.60	2.80	6.76
S4	4.17	92.67	0.25	0.97	1.60	2.80	7.17

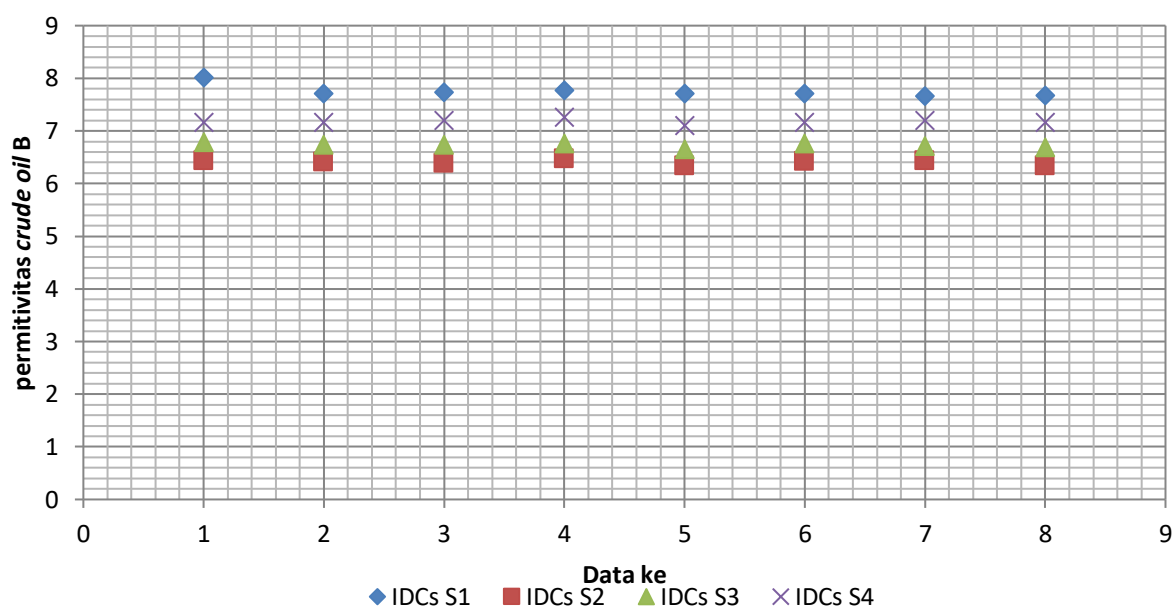
g. Tabel data ke 7, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 61 s/d ke 70)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ε_r
S1	13.02	96.44	0.25	0.97	1.60	2.80	7.66
S2	11.73	86.89	0.25	0.97	1.60	2.80	6.43
S3	8.02	89.11	0.25	0.97	1.60	2.80	6.71
S4	4.18	92.89	0.25	0.97	1.60	2.80	7.20

h. Tabel data ke 8, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi ke 71 s/d ke 80)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.03	96.52	0.25	0.97	1.60	2.80	7.67
S2	11.64	86.22	0.25	0.97	1.60	2.80	6.34
S3	8.00	88.89	0.25	0.97	1.60	2.80	6.69
S4	4.17	92.67	0.25	0.97	1.60	2.80	7.17

Dari table 4.4(a) – 4.4(h) di atas dapat dibuat table sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik perhitungan permitivitas *crude oil* B dari data ke 1 s/d data ke 8

Gambar 4.2 di atas menunjukkan nilai permitivitas relatif *crude oil* B yang dihitung menggunakan nilai kapasitansi hasil pengukuran *crude oil* secara simultan dari multi sensor IDCs. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa sensor IDCs S3 dan sensor IDCs S4 nilainya mendekati konstan sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S3 dan sensor IDCs S4 lebih diunggulkan untuk mengukur permitivitas *crude oil* B.

B. Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas *crude oil* B

Nilai permitivitas *crude oil* dari keempat sensor dapat ditulis dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5 Nilai permitivitas *crude oil* B dari data kapasitansi ke 1 s/d ke 80

Permitivitas (ϵ_r) *crude oil* B

Sensor IDCs	Data ke							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	8.02	7.71	7.74	7.77	7.71	7.71	7.66	7.67
S2	6.43	6.41	6.39	6.47	6.34	6.42	6.43	6.34
S3	6.79	6.74	6.74	6.76	6.66	6.76	6.71	6.69
S4	7.17	7.17	7.20	7.26	7.11	7.17	7.20	7.17

Hasil perhitungan nilai rata-rata permitivitas dan nilai Standar deviasi pada tabel diatas adalah sebagai berikut:

Tabel, 4.6 Nilai rata-rata permitivitas dan standar deviasi permitivitas *crude oil* B.

Sensor IDCs	Rata-rata Permitivitas	Standar Deviasi Permitivitas
S1	7.75	0.11
S2	6.40	0.05
S3	6.73	0.04
S4	7.18	0.04

Dari table 4.6 di atas dapat diketahui bahwa nilai standar deviasi permitivitas *crude oil* B yang lebih kecil adalah sensor IDCs S3 =0.04 dan sensor IDCs S4 yang masing-masing nilainya 0.04. Hal ini menunjukkan bahwa ketika digunakan mengukur permitivitas *crude oil* B, sensor IDCs S3 dan IDCs S4 lebih stabil dibandingkan dengan sensor IDCs lainnya.

4.1.3 Hasil perhitungan permitivitas *crude oil* sampel C.

Nilai total kapasitansi pada table 4.7 diambil dari rata-rata data nilai kapasitansi sensor IDCs S1. Sensor IDCs S2, sensor IDCs S3, dan sensor IDCs S4 yang diperoleh dari hasil sistem pengukuran dengan menggunakan Arduino uno ATmega 328 seperti data terlampir. Jumlah data ada 80 data, untuk analisa diambil rata-rata 10 data untuk mewakili data sebagaimana ditunjukkan pada table 4.7, yaitu tabel 4.7 a. data ke (1 -10), tabel 4.7 b data ke (11 – 20), tabel 4.7 c data ke (21 -30), tabel 4.7 d data ke (31 -40), tabel 4.17 e data ke (41- 50), tabel 4.7 f data ke (51 – 60), tabel 4.7 g data ke (61 – 70), tabel 4.7 h data ke (71 -80).

A. Perhitungan Permitivitas *crude oil* C dengan Microsoft exel

Tabel. 4.7 Perhitungan permitivitas *crude oil* C dengan Microsoft exel.

a. Tabel data ke 1,(diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke1 s/d ke10)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.16	97.48	0.25	0.97	1.60	2.80	7.79
S2	11.68	86.52	0.25	0.97	1.60	2.80	6.38
S3	9.68	107.56	0.25	0.97	1.60	2.80	9.09
S4	4.49	99.78	0.25	0.97	1.60	2.80	8.03

b .Tabel data ke 2,(diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 11 s/d 20)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.00	96.30	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S2	11.69	86.59	0.25	0.97	1.60	2.80	6.39
S3	9.70	107.78	0.25	0.97	1.60	2.80	9.11
S4	4.50	100.00	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11

c. Tabel data ke 3,(diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 21 s/d 30)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	12.94	95.85	0.25	0.97	1.60	2.80	7.58
S2	11.71	86.74	0.25	0.97	1.60	2.80	6.41
S3	9.69	107.67	0.25	0.97	1.60	2.80	9.10
S4	4.52	100.44	0.25	0.97	1.60	2.80	8.17

d. Tabel data ke 4, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 31 s/d 40)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.00	96.30	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S2	11.74	86.96	0.25	0.97	1.60	2.80	6.44
S3	9.66	107.33	0.25	0.97	1.60	2.80	9.06
S4	4.50	100.00	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11

e. Tabel data ke 5, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 41 s/d 50)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.00	96.30	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S2	11.67	86.44	0.25	0.97	1.60	2.80	6.37
S3	9.68	107.56	0.25	0.97	1.60	2.80	9.09
S4	4.48	99.56	0.25	0.97	1.60	2.80	8.06

f. Tabel data ke 6, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 51 s/d 60)

Sensor IDCs	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.00	96.30	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S2	11.66	86.37	0.25	0.97	1.60	2.80	6.36
S3	9.68	107.56	0.25	0.97	1.60	2.80	9.09
S4	4.50	100.00	0.25	0.97	1.60	2.80	8.11

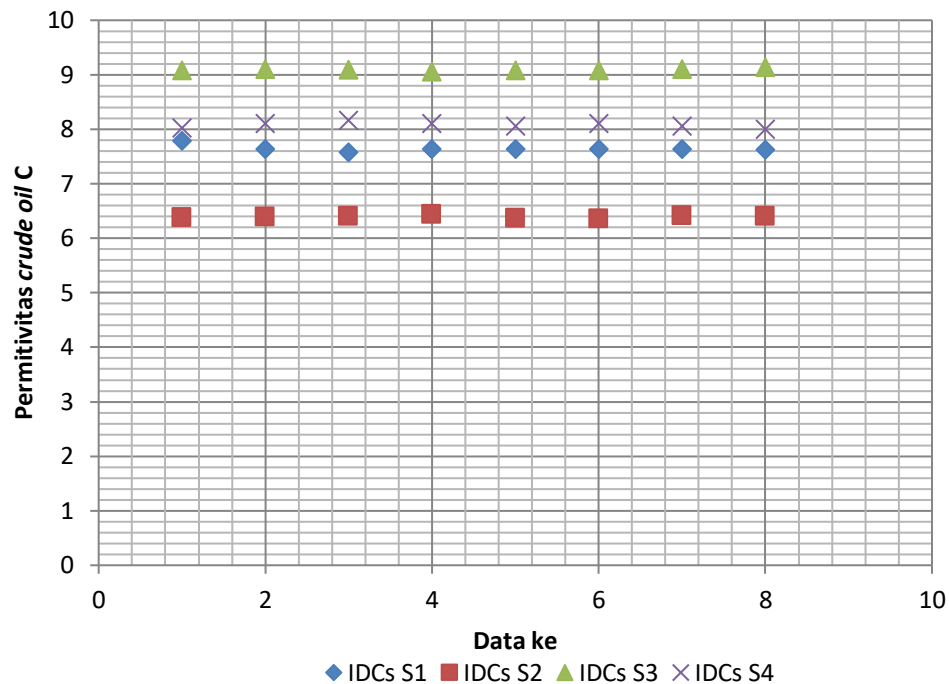
g. Tabel data ke 7, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 61 s/d 70)

Sensor	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	13.00	96.37	0.25	0.97	1.60	2.80	7.64
S2	11.72	86.58	0.25	0.97	1.60	2.80	6.42
S3	9.70	107.92	0.25	0.97	1.60	2.80	9,11
S4	4.48	100.11	0.25	0.97	1.60	2.80	8.06

h. Tabel data ke 8, (diperoleh dari rata-rata nilai kapasitansi data ke 71 s/d 80)

Sensor	C Total	Cuc(PF/m)	K	$\sqrt{1 - k^2}$	K(k)	$K(\sqrt{1 - k^2})$	ϵ_r
S1	12.99	96.22	0.25	0.97	1.60	2.80	7.63
S2	11.71	86.74	0.25	0.97	1.60	2.80	6.41
S3	9.72	108.00	0.25	0.97	1.60	2.80	9.14
S4	4.48	99.56	0.25	0.97	1.60	2.80	8.0

Dari table 4.7(a) – 4.7(b) dapat dibuat grafik sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik perhitungan permitivitas *crude oil C* dari data ke 1 s/d data ke 8

Gambar 4.3 di atas menunjukkan nilai permitivitas relatif *crude oil C* yang dihitung menggunakan nilai kapasitansi hasil pengukuran *crude oil* secara simultan dari multi sensor IDCs. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa sensor IDCs S3 nilainya mendekati konstan sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S3 lebih diunggulkan untuk mengukur permitivitas *crude oil C*.

B. Nilai rata-rata dan standar deviasi permitivitas *crude oil* sampel C.

Hasil perhitungan nilai permitivitas *crude oil* dari keempat sensor dapat ditulis dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.8. Nilai permitivitas *crude oil* C data ke 1 / data ke 80

Permitivitas (ϵ_r) *crude oil* C

Sensor IDCs	Data ke							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	7.79	7.64	7.58	7.64	7.64	7.64	7.64	7.63
S2	6.38	6.39	6.41	6.44	6.37	6.36	6.42	6.41
S3	9.09	9.11	9.10	9.06	9.09	9.09	9.11	9.14
S4	8.03	8.11	8.17	8.11	8.06	8.11	8.06	8.00

Hasil perhitungan nilai rata-rata permitivitas dan nilai standar deviasi pada tabel di atas adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Nilai rata-rata permitivitas dan standar deviasi permitivitas *crude oil* C.

Sensor IDCs	Rata-rata permitivitas	Standar deviasi permitivitas
S1	7.65	0.06
S2	6.40	0.03
S3	9.10	0.02
S4	8.08	0.05

Dari table 4.9 di atas dapat diketahui bahwa nilai standar deviasi permitivitas *crude oil* C yang lebih kecil adalah sensor IDCs S3 nilainya adalah 0.02. Hal ini menunjukkan bahwa ketika digunakan mengukur permitivitas *crude oil* C sensor IDCs S3 lebih stabil dibandingkan dengan sensor IDCs lainnya.

4.2 Analisis error pengukuran permitivitas *crude oil* A, B, dan C

4.2.1 Error pengukuran permitivitas *Crude oil* A.

Dari hasil perhitungan rata-rata permitivitas dan standar deviasi permitivitas *crude oil* A pada tabel 4.3, maka dapat diperoleh error pengukuran permitivitas sebagai berikut :

Tabel 4.10. Error pengukuran permitivitas *crude oil A*

Sensor IDCs	Rata-rata permitivitas	Standar deviasi permitivitas (s)	Error (%) ($\frac{s}{\sqrt{n}} \times 100$)
S1	5.21	0.05	1.8
S2	8.15	0.04	1.4
S3	7.67	0.06	2
S4	8.85	0.03	1

Dari tabel 4.10 di atas dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S4 memiliki error pengukuran terkecil yaitu 1 %, hal ini menunjukkan bahwa sensor IDCs memiliki akurasi pengukuran yang lebih baik dibandingkan sensor IDCs lainnya pada pengukuran permitivitas *crude oil A*.

4.2.2 Error pengukuran permitivitas *Crude oil B*.

Dari hasil perhitungan rata-rata permitivitas dan standar deviasi permitivitas crude oil B pada tabel 4.6, maka dapat diperoleh error pengukuran permitivitas sebagai berikut :

Tabel 4.11 Error pengukuran permitivitas *crude oil B*.

Sensor IDCs	Rata-rata permitivitas	Standar deviasi permitivitas (s)	Error (%) ($\frac{s}{\sqrt{n}} \times 100$)
S1	7.25	0.11	4
S2	6.40	0.05	1.8
S3	6.73	0.04	1.4
S4	7.18	0.04	1.4

Dari tabel 4.11 di atas dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S3 dan sensor IDCs S4, masing-masing memiliki error pengukuran terkecil, yaitu 1.4 %, hal ini menunjukkan bahwa sensor IDCs S3 dan sensor IDCs S4 memiliki akurasi pengukuran yang lebih baik dibandingkan sensor IDCs lainnya pada pengukuran permitivitas *crude oil B*.

4.2.3 Error pengukuran permitivitas *crude oil* C.

Dari hasil perhitungan rata-rata dan standar deviasi permitivitas *crude oil* C pada tabel 4.9, maka dapat diperoleh error pengukuran permitivitas sebagai berikut :

Tabel 4.12 Error pengukuran permitivitas *crude oil* C.

Sensor IDCs	Rata-rata permitivitas	Standar deviasi permitivitas(s)	Error (%) ($\frac{s}{\bar{x}} \times 100$)
S1	7.65	0.06	2
S2	6.40	0.03	1
S3	9.10	0.02	0.7
S4	8.08	0.05	1.8

Dari tabel 4.12 di atas dapat disimpulkan bahwa sensor IDCs S3 memiliki error pengukuran terkecil yaitu 0.7 %, hal ini menunjukkan bahwa sensor IDCs S3 memiliki akurasi pengukuran yang lebih baik dibandingkan sensor IDCs lainnya pada pengukuran permitivitas *crude oil* C.

4.3 Perhitungan permitivitas *crude oil* terbaik pada *crude oil* A, B, dan C.

Nilai permitivitas *crude oil* terbaik pada sampel A, B, dan C, dapat diperoleh dari hasil rata-rata nilai permitivitas masing-masing sensor IDCs pada setiap sampel di atas, dimana jumlah nilai permitivitas dibagi 4, karena jumlah sensor IDCs ada sebanyak 4, seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.13 permitivitas *crude oil* terbaik pada *crude oil* A, B, dan C

Sensor IDCs	Rata-rata ϵ_r <i>crude oil</i> A	Rata-rata ϵ_r <i>crude oil</i> B	Rata-rata ϵ_r <i>crude oil</i> C	ϵ_r <i>crude oil</i> A	ϵ_r <i>crude oil</i> B	ϵ_r Crude oil C
S1	5.21	7.25	7.65	7.47	6.86	7.81
S2	8.15	6.40	6.40			
S3	7.67	6.73	9.10			
S4	8.85	7.18	8.08			

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan permitivitas *crude oil* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Interdigital capapasitors*(IDCs) dapat dirancang dengan menggunakan bahan elektroda FR-4 PCB, dimana telah dibuat 4 sensor IDCs dari bahan tersebut untuk pengukuran permitivitas *crude oil* secara simultan.
2. Setelah standar deviasi permitivitas *crude oil* A, B dan C diketahui, nilai standar deviasi permitivitas yang lebih kecil pada *crude oil* A adalah IDCs S4 = 0.03, nilai standar deviasi permitivitas yang lebih kecil pada *crude oil* B adalah sensor IDCs S3=0.04 dan sensor IDCs S4=0.04, nilai standar deviasi permitivitas yang lebih kecil pada *crude oil* C adalah sensor IDCs S3 = 0.02. Hal ini menunjukkan bahwa sensor IDCs yang memiliki kestabilan yang lebih baik dari pada sensor IDCS lainnya pada setiap dua detik pengukuran kapasitansi secara siumultan adalah sensor IDCs S4 pada *crude oil* A, sensor IDCs S3 dan sensor IDCs S4 pada *crude oil* B, dan sensor IDCs S3 pada *crude oil* C.
3. Dari hasil pengukuran kontanta dielektrik *crude oil* atau pengukuran permitivitas *crude oil* secara simultan dengan menggunakan multi sensor IDCs maka dapat di ketahui bahwa nilai kontanta dielektrik terbaik adalah 7.47 pada *crude oil* A, 6.86 pada *crude oil* B, 7.81 pada *crude oil* C.
4. Pengukuran permitivitas *crude oil* dapat dilakukan dengan sistem pengukuran secara simultan menggunakan multi sensor *interdigital capasitor* (IDCs).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z., Pollard, R.D., Kelsall, R.W., 1998. Determination of The Dielectric Constant of Materials from Effective Refractive Index Measurement.
- Abu-Abed, A.S., Lindquist, R.G., 2008. Capacitive Interdigital Sensor with Inhomogeneous Nematic Liquid Crystal Film. *Prog. Electromagn. Res. B* 7, 75–87. doi:10.2528/PIERB08022901
- Angkawisittpan, N., Manasri, T., 2012. Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor Sensor. *Meas. Sci. Rev.* 12, 8–13. doi:10.2478/v10048-012-0002-0
- Baro'n, M., Buep, A.H., 1997. Empirical relation between permittivity (ϵ) and viscosity (η) of polar and non-polar liquids. *Specul. Sci. Technol.* 20, 45–50. doi:10.1023/A:1018508502411
- Belkind, A., Freilich, A., Lopez, J., Zhao, Z., Zhu, W., Becker, K., 2005. Characterization of pulsed dc magnetron sputtering plasmas. *New J. Phys.* 7, 90. doi:10.1088/1367-2630/7/1/090
- Bogiva, Mirdyanto. 2017. *Analisis Error Pengukuran Simultan Secara Otomatis pada IDCs (Interdigital Capacitors) Berbasis Arduino pada Pengukuran Permittivitas Crude Oil*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cole, M.C., Kenis, P.J.A., 2009. Multiplexed electrical sensor arrays in microfluidic networks. *Sens. Actuators B Chem.* 136, 350–358. doi:10.1016/j.snb.2008.12.010
- Cottingham dan Greenwood, 1991. *Electricity and Magnetism*. Cambridge University Press
- Douglas, M.C. 1999. *PROCESS/ INDUSTRIAL INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK*. Los Angeles: MC Graw Hill International.
- Erdogan, Levent, (2011), "Dielectric Properties of Oil Sand at 2.45 GHz Determined With Rectangular Cavity Resonator. Universite' De' Montre'al.
- Fraden, Jacob. 2004. *Handbook Of Modern Sensors : Physics, Design, and Applications*. 3rd ed. USA: Springer-Verlag.
- Griffiths, D.J., 1999, *Introduction to Electrodynamics and Instructors Solutions Manual Third Edition*, USA: Prentice Hall.
- Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. 2010. *Fisika Dasar Edisi Ketujuh Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hemmingsen, P.V., Kim, S., Pettersen, H.E., Rodgers, R.P., Sjöblom, J., Marshall, A.G., 2006. Structural Characterization and Interfacial Behavior of Acidic Compounds Extracted from a North Sea Oil. *Energy Fuels* 20, 1980–1987. doi:10.1021/ef0504321
- Hutagaol, N.I, (2009), *Studi Pengaruh Kadar Hidrogen Sulfida Yang Terdapat Pada Minyak Bumi Dalam Proses Pengolahan Di PT. PERTAMINA EP Region Sumatra Field Pangkalan Susu, Tugas Akhir*, Universitas Sumatra Utara.
- Igreja, R., Dias, C.J., 2011. Extension to the analytical model of the interdigital electrodes capacitance for a multi-layered structure. *Sens. Actuators Phys.* 172, 392–399. doi:10.1016/j.sna.2011.09.033
- Kaufman, J.G., 2000, *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, USA: ASM International.
- Khasanah, Ulva Niswatul. 2017. *Pengaruh Konfigurasi IDCs (Interdigital Capacitors) Terhadap Pengukuran Permittivitas Crude Oil*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kusumaningrum, N., 2015, *Studi Pengukuran Konstanta Dielektrik Minyak Goreng Curah dengan Menggunakan Metode Dielektrik*, TA, UB: Malang.
- Lide, D. R., 2010, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, Florida: CRC Press.

- Li, X, P.K Venuvinod, A Djorjevich, and Z Liu. 2001. "Predicting Machining, Errors in Turning Using Hybrid Learning." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* Vol. 18: 863–72.
- Lin, J., Moller, S., Obermeir, E., 1991. Two-Dimensional and Three-dimensional Interdigital Capacitors As Basic Elements for Chemical Sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol.5(1):223-226, doi:10.1016/0925-4005(91)80251
- Mahmudi.2000. *Studi Tentang Uniformitas Lapisan Tipis Alumunium pada Substrat Kaca Terhadap Jarak Deposit Menggunakan Metode Evaporasi Termal Tipe Ladd Research*. Surakarta : Jurusan Fisika FMIPA UNS.
- Melania suweni muntini, yono hadi pramono, eko minarto, ummu kulsum and risse entikaria rachmanita, 2017. modelling and simulation of microwave propagation on crude oil heating. 2017. International seminar on sensor instrumentation, measurement and metrology (ISSIMM).
- Monaco, Gianni. 2016. *Coating Technology : Evaporation VS Sputtering*. Italy : R&D Project Manager.
- Muntini, M. S., Pramono, Y. H., & Yustiana. (2014). Modeling of Well Drilling Heating on Crude Oil Using Microwave. *The 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP) 2014* (pp. 030011-2-030011-7). Bali, Indonesia: American Institute of Physics.
- Przywoska, S.2017, *Design of Interdigital Capacitor Sensor for The Measurement of Permittivity of Crude Oil*. Surabaya: ITS.
- Ratanadecho, P., Aoki, K., Akahori, M., 2002. A numerical and experimental investigation of the modeling of microwave heating for liquid layers using a rectangular wave guide (effects of natural convection and dielectric properties). *Appl. Math. Model.* 26, 449–472. doi:10.1016/S0307-904X(01)00046-4
- Rachmanita, R.E, 2017. *Fabrikasi dan Karakterisasi Interdigital Capacitors Menggunakan Metode DC Magnetron Sputtering Untuk Pengukuran Konstanta Dielektrik Crude Oil*. Surabaya : ITS.
- Speight, J.G., (2015). *Handbook of Petroleum Product Analysis*, n.d. Unites Stated of America : Jhon Wiley and Son, INC
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Triana, F. 2010, *Pengukuran dan Pemodelan Konstanta Dielektrik Air Hujan pada Gelombang Mikro*, TA, ITS: Surabaya.
- Vuković Rukavina, A., 2014. Hand-held unit for liquid-type recognition, based on interdigital capacitor. *Measurement* 51,289296.doi:10.1016/j. measurement. 2014.02.012
- Zhang, S, 2010, *Interdigitated Capacitor Sensor for Complex Dielectric Constant Sensing*, Thesis, The University of Texas at Austin.

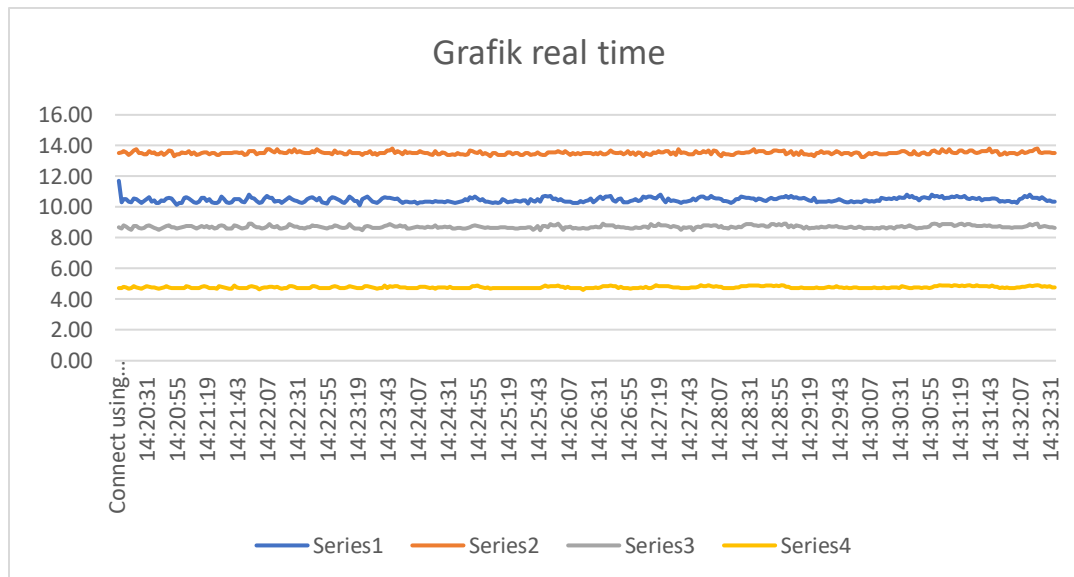
LAMPIRAN

1. Data pengukuran kapasitansi *crude oil* A secara simultan.

Connect using "PLX-DAQ Simple Test"	IDCs S1	IDCs S2	IDCs S3	IDCS S4
14:20:09	11.71	13.501	8.68	4.708
14:20:11	10.30	13.562	8.585	4.708
14:20:13	10.50	13.624	8.824	4.81
14:20:15	10.50	13.562	8.728	4.776
14:20:17	10.35	13.379	8.585	4.674
14:20:19	10.30	13.501	8.537	4.708
14:20:21	10.55	13.686	8.776	4.844
14:20:23	10.50	13.748	8.776	4.776
14:20:25	10.40	13.501	8.632	4.742
14:20:27	10.25	13.501	8.585	4.674
14:20:29	10.40	13.44	8.632	4.776
14:20:31	10.50	13.44	8.776	4.844
14:20:33	10.64	13.624	8.824	4.81
14:20:35	10.35	13.501	8.728	4.776
14:20:37	10.45	13.562	8.632	4.776
14:20:39	10.25	13.44	8.585	4.708
14:20:41	10.25	13.44	8.537	4.674
14:20:43	10.45	13.562	8.585	4.742
14:20:45	10.40	13.379	8.68	4.776
14:20:47	10.55	13.501	8.776	4.844
14:20:49	10.59	13.686	8.824	4.776
14:20:51	10.55	13.624	8.68	4.708
14:20:53	10.35	13.318	8.68	4.708
14:20:55	10.16	13.44	8.585	4.742
14:20:57	10.25	13.44	8.632	4.708
14:20:59	10.25	13.562	8.68	4.708
14:21:01	10.59	13.501	8.728	4.742
14:21:03	10.64	13.501	8.776	4.844
14:21:05	10.55	13.624	8.776	4.81
14:21:07	10.45	13.44	8.776	4.708
14:21:09	10.30	13.562	8.68	4.708
14:21:11	10.25	13.379	8.585	4.708
14:21:13	10.35	13.44	8.68	4.742
14:21:15	10.59	13.501	8.776	4.81
14:21:17	10.59	13.562	8.68	4.844
14:21:19	10.40	13.562	8.776	4.81
14:21:21	10.50	13.44	8.632	4.742
14:21:23	10.30	13.501	8.728	4.708
14:21:25	10.25	13.501	8.585	4.708
14:21:27	10.25	13.379	8.632	4.674
14:21:29	10.35	13.379	8.776	4.844
14:21:31	10.69	13.501	8.824	4.81
14:21:33	10.50	13.501	8.776	4.776
14:21:35	10.30	13.501	8.585	4.708

14:21:37	10.25	13.501	8.585	4.674
14:21:39	10.30	13.501	8.585	4.674
14:21:41	10.50	13.562	8.824	4.879
14:21:43	10.50	13.562	8.776	4.776
14:21:45	10.50	13.501	8.68	4.742
14:21:47	10.35	13.562	8.585	4.708
14:21:49	10.30	13.379	8.632	4.708
14:21:51	10.55	13.44	8.68	4.742
14:21:53	10.79	13.624	8.92	4.81
14:21:55	10.59	13.624	8.92	4.844
14:21:57	10.55	13.624	8.776	4.81
14:21:59	10.40	13.44	8.68	4.776
14:22:01	10.25	13.501	8.68	4.64
14:22:03	10.30	13.501	8.585	4.708
14:22:05	10.55	13.501	8.632	4.776
14:22:07	10.74	13.748	8.728	4.776
14:22:09	10.59	13.748	8.872	4.81
14:22:11	10.59	13.624	8.728	4.81
14:22:13	10.35	13.562	8.68	4.776
14:22:15	10.40	13.748	8.776	4.81
14:22:17	10.40	13.562	8.585	4.742
14:22:19	10.25	13.562	8.585	4.674
14:22:21	10.40	13.501	8.632	4.708
14:22:23	10.50	13.501	8.68	4.742
14:22:25	10.64	13.686	8.872	4.844
14:22:27	10.50	13.562	8.824	4.844
14:22:29	10.45	13.748	8.728	4.81
14:22:31	10.40	13.562	8.728	4.708
14:22:33	10.30	13.624	8.632	4.708
14:22:35	10.25	13.562	8.632	4.708
14:22:37	10.35	13.501	8.585	4.708
14:22:39	10.50	13.501	8.68	4.708
14:22:41	10.59	13.501	8.68	4.742
14:22:43	10.64	13.624	8.824	4.844
14:22:45	10.55	13.562	8.776	4.844
14:22:47	10.45	13.748	8.776	4.81
14:22:49	10.59	13.624	8.728	4.742
14:22:51	10.30	13.562	8.68	4.708
14:22:53	10.25	13.501	8.632	4.708
14:22:55	10.21	13.501	8.585	4.708
14:22:57	10.50	13.501	8.68	4.742
14:22:59	10.64	13.44	8.68	4.81
14:23:01	10.59	13.686	8.824	4.844
14:23:03	10.50	13.501	8.776	4.81
14:23:05	10.45	13.562	8.68	4.742
14:23:07	10.30	13.501	8.632	4.708
14:23:09	10.25	13.44	8.632	4.708
14:23:11	10.45	13.44	8.68	4.776
14:23:13	10.69	13.624	8.872	4.844
14:23:15	10.55	13.501	8.728	4.81

14:23:17	10.40	13.501	8.585	4.776
14:23:19	10.40	13.501	8.585	4.708
14:23:21	10.11	13.501	8.585	4.708
14:23:23	10.50	13.379	8.49	4.742
14:23:25	10.59	13.501	8.728	4.844
14:23:27	10.69	13.501	8.776	4.844
14:23:29	10.50	13.624	8.728	4.81
14:23:31	10.35	13.44	8.632	4.776
14:23:33	10.30	13.501	8.632	4.742
14:23:35	10.25	13.379	8.632	4.674
14:23:37	10.40	13.501	8.632	4.708
14:23:39	10.55	13.501	8.68	4.742
14:23:41	10.64	13.501	8.776	4.879
14:23:43	10.59	13.686	8.824	4.742
14:23:45	10.59	13.686	8.872	4.844



Series 1 = Sensor IDCs S1, Series 2 = Sensor IDCs S2, Series 3 = Sensor IDCs S3, Series 4 = Sensor IDCs S4.

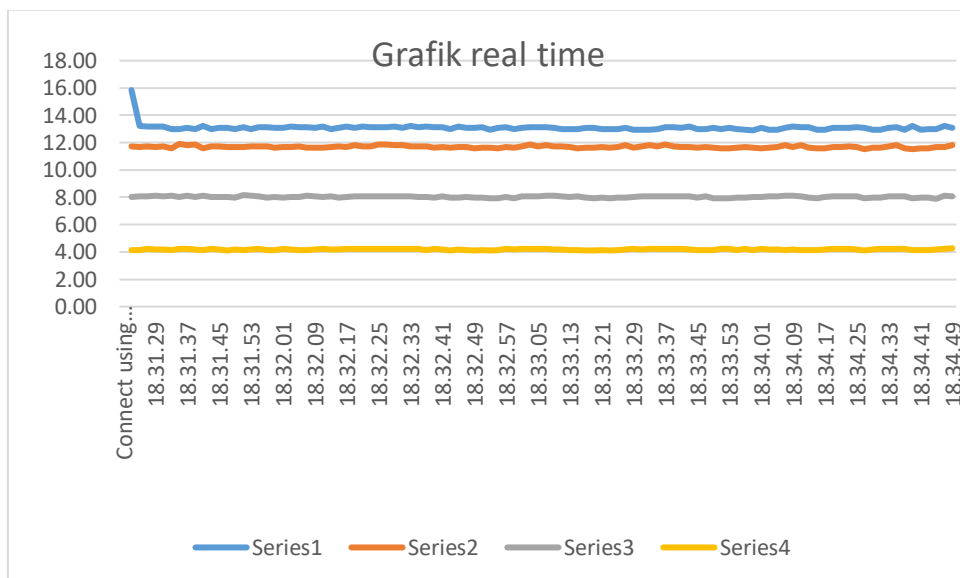
2. Data pengukuran kapasitansi *crude oil* B secara simultan

Connect using
"PLX-DAQ Simple
Test"

18.31.23	15,85	11,744	8,024	4,141
18.31.25	13,24	11,688	8,07	4,141
18.31.27	13,18	11,744	8,07	4,206
18.31.29	13,18	11,688	8,116	4,173
18.31.31	13,18	11,744	8,07	4,173
18.31.33	13,01	11,576	8,116	4,141
18.31.35	13,01	11,912	8,024	4,206
18.31.37	13,07	11,8	8,116	4,206
18.31.39	13,01	11,856	8,024	4,173
18.31.41	13,24	11,576	8,116	4,141
18.31.43	13,01	11,744	8,024	4,206
18.31.45	13,07	11,744	8,024	4,173
18.31.47	13,07	11,688	8,024	4,108
18.31.49	13,01	11,688	7,978	4,173
18.31.51	13,12	11,688	8,162	4,141
18.31.53	13,01	11,744	8,116	4,173
18.31.55	13,12	11,744	8,07	4,206
18.31.57	13,12	11,744	7,978	4,141
18.31.59	13,07	11,632	8,024	4,141
18.32.01	13,07	11,688	7,978	4,206
18.32.03	13,18	11,688	8,024	4,173
18.32.05	13,12	11,744	8,024	4,141
18.32.07	13,12	11,632	8,116	4,141
18.32.09	13,07	11,632	8,07	4,173
18.32.11	13,18	11,632	8,024	4,206
18.32.13	13,01	11,688	8,07	4,173
18.32.15	13,07	11,744	7,978	4,173
18.32.17	13,18	11,688	8,024	4,206
18.32.19	13,07	11,8	8,07	4,206
18.32.21	13,18	11,744	8,07	4,206
18.32.23	13,12	11,744	8,07	4,206
18.32.25	13,12	11,856	8,07	4,239
18.32.27	13,12	11,856	8,07	4,206
18.32.29	13,18	11,8	8,07	4,206
18.32.31	13,07	11,8	8,07	4,206
18.32.33	13,24	11,744	8,07	4,206
18.32.35	13,12	11,744	8,024	4,206
18.32.37	13,18	11,744	8,024	4,141
18.32.39	13,12	11,632	7,978	4,206
18.32.41	13,12	11,688	8,07	4,173
18.32.43	13,01	11,632	7,978	4,108
18.32.45	13,18	11,688	7,978	4,173
18.32.47	13,07	11,688	8,024	4,141
18.32.49	13,07	11,576	7,978	4,108
18.32.51	13,12	11,632	7,978	4,141
18.32.53	12,95	11,632	7,932	4,108
18.32.55	13,07	11,576	7,932	4,141
18.32.57	13,12	11,688	8,024	4,206
18.32.59	13,01	11,632	7,932	4,173

18.33.01	13,07	11,744	8,07	4,206
18.33.03	13,12	11,856	8,07	4,206
18.33.05	13,12	11,744	8,07	4,206
18.33.07	13,12	11,8	8,116	4,206
18.33.09	13,07	11,744	8,116	4,173
18.33.11	13,01	11,744	8,07	4,173
18.33.13	13,01	11,688	8,024	4,141
18.33.15	13,01	11,576	8,07	4,141
18.33.17	13,07	11,632	7,978	4,108
18.33.19	13,07	11,632	7,932	4,108
18.33.21	13,01	11,688	7,978	4,141
18.33.23	13,01	11,632	7,932	4,108
18.33.25	13,01	11,688	7,978	4,141
18.33.27	13,07	11,8	7,978	4,173
18.33.29	12,95	11,632	8,024	4,206
18.33.31	12,95	11,744	8,07	4,173
18.33.33	12,95	11,8	8,07	4,206
18.33.35	13,01	11,744	8,07	4,206
18.33.37	13,12	11,856	8,07	4,239
18.33.39	13,12	11,744	8,07	4,239
18.33.41	13,07	11,688	8,07	4,206
18.33.43	13,18	11,688	8,07	4,173
18.33.45	13,01	11,632	7,978	4,141
18.33.47	13,01	11,688	8,07	4,141
18.33.49	13,07	11,632	7,932	4,141
18.33.51	13,01	11,576	7,932	4,206
18.33.53	13,07	11,576	7,932	4,206
18.33.55	13,01	11,632	7,978	4,141
18.33.57	12,95	11,688	7,978	4,206
18.33.59	12,90	11,632	8,024	4,141
18.34.01	13,07	11,576	8,024	4,206
18.34.03	12,95	11,632	8,07	4,173
18.34.05	12,95	11,688	8,07	4,173
18.34.07	13,07	11,8	8,116	4,141
18.34.09	13,18	11,688	8,116	4,173
18.34.11	13,12	11,8	8,07	4,141
18.34.13	13,12	11,632	7,978	4,141
18.34.15	12,95	11,576	7,932	4,141
18.34.17	12,95	11,576	8,024	4,173
18.34.19	13,07	11,688	8,07	4,206
18.34.21	13,07	11,688	8,07	4,239
18.34.23	13,07	11,744	8,07	4,206
18.34.25	13,12	11,688	8,07	4,173
18.34.27	13,07	11,521	7,932	4,108
18.34.29	12,95	11,632	7,978	4,173
18.34.31	12,95	11,632	7,978	4,206
18.34.33	13,07	11,744	8,07	4,206
18.34.35	13,12	11,8	8,07	4,206
18.34.37	12,95	11,576	8,07	4,206
18.34.39	13,24	11,521	7,932	4,141
18.34.41	12,95	11,576	7,978	4,141
18.34.43	13,01	11,576	7,978	4,141
18.34.45	13,01	11,688	7,886	4,173
18.34.47	13,24	11,688	8,116	4,206

18.34.49 13,07 11,8 8,07 4,272



Series 1 =Sensor IDCs S1, Series 2 = Sensor IDCs S2, Series 3 = Sensor IDCs S3, Series 4 = IDCs S4

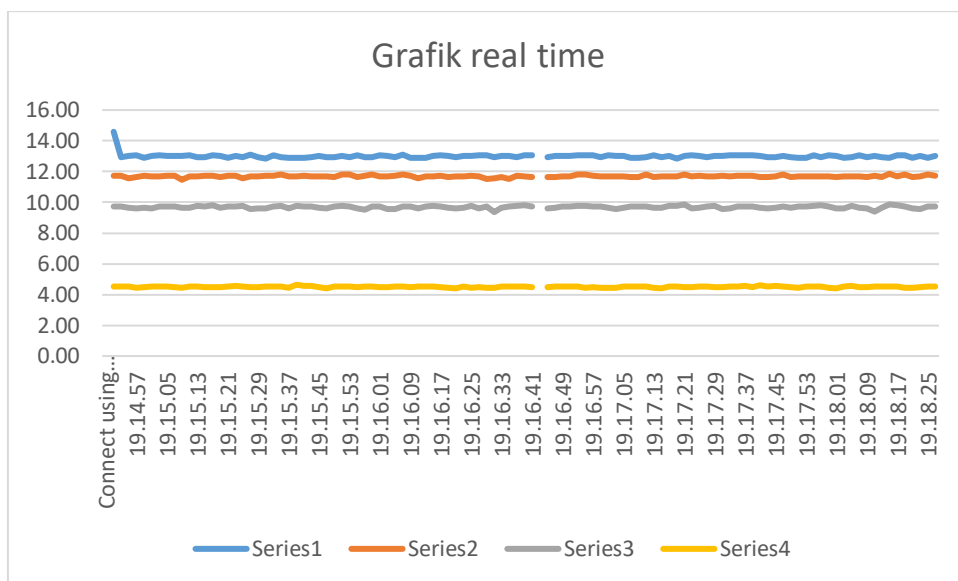
3. Data pengukuran kapasitansi *crude oil C* secara simultan.

Connect using
"PLX-DAQ Simple
Test"

19.14.51	14,59	11,744	9,713	4,539
19.14.53	12,95	11,744	9,713	4,505
19.14.55	13,01	11,576	9,662	4,505
19.14.57	13,07	11,632	9,612	4,438
19.14.59	12,90	11,744	9,662	4,471
19.15.01	13,01	11,688	9,612	4,505
19.15.03	13,07	11,688	9,713	4,505
19.15.05	13,01	11,744	9,713	4,505
19.15.07	13,01	11,744	9,713	4,471
19.15.09	13,01	11,466	9,662	4,438
19.15.11	13,07	11,688	9,662	4,539
19.15.13	12,95	11,688	9,764	4,539
19.15.15	12,95	11,744	9,713	4,471
19.15.17	13,07	11,744	9,815	4,471
19.15.19	13,01	11,632	9,662	4,471
19.15.21	12,90	11,744	9,713	4,505
19.15.23	13,01	11,744	9,713	4,572
19.15.25	12,95	11,576	9,764	4,505
19.15.27	13,12	11,688	9,562	4,471
19.15.29	12,95	11,688	9,612	4,471
19.15.31	12,84	11,744	9,612	4,539
19.15.33	13,07	11,744	9,713	4,505
19.15.35	12,95	11,8	9,764	4,505
19.15.37	12,90	11,688	9,612	4,438
19.15.39	12,90	11,688	9,764	4,64
19.15.41	12,90	11,744	9,713	4,572
19.15.43	12,95	11,688	9,713	4,572
19.15.45	13,01	11,688	9,662	4,471
19.15.47	12,95	11,688	9,612	4,405
19.15.49	12,95	11,632	9,713	4,505
19.15.51	13,01	11,8	9,764	4,505
19.15.53	12,95	11,8	9,713	4,505
19.15.55	13,07	11,632	9,612	4,471
19.15.57	12,95	11,744	9,512	4,539
19.15.59	12,95	11,8	9,713	4,505
19.16.01	13,07	11,688	9,713	4,471
19.16.03	13,01	11,688	9,562	4,471
19.16.05	12,95	11,744	9,562	4,539
19.16.07	13,12	11,8	9,713	4,539
19.16.09	12,90	11,744	9,713	4,471
19.16.11	12,90	11,576	9,612	4,505
19.16.13	12,90	11,688	9,713	4,539
19.16.15	13,01	11,688	9,764	4,539
19.16.17	13,07	11,744	9,713	4,471
19.16.19	13,01	11,632	9,662	4,438
19.16.21	12,95	11,688	9,612	4,405
19.16.23	13,01	11,688	9,662	4,539
19.16.25	13,01	11,744	9,764	4,438
19.16.27	13,07	11,688	9,612	4,471

19.16.29	13,07	11,521	9,713	4,438
19.16.31	12,95	11,576	9,362	4,438
19.16.33	13,01	11,632	9,662	4,505
19.16.35	13,01	11,521	9,713	4,505
19.16.37	12,95	11,744	9,764	4,505
19.16.39	13,07	11,688	9,815	4,505
19.16.41	13,07	11,632	9,713	4,471
19.16.45	12,95	11,632	9,612	4,471
19.16.47	13,01	11,632	9,662	4,505
19.16.49	13,01	11,688	9,713	4,505
19.16.51	13,01	11,688	9,713	4,505
19.16.53	13,07	11,8	9,764	4,505
19.16.55	13,07	11,8	9,764	4,438
19.16.57	13,07	11,744	9,713	4,471
19.16.59	12,95	11,688	9,713	4,438
19.17.01	13,07	11,688	9,662	4,438
19.17.03	13,01	11,688	9,562	4,438
19.17.05	13,01	11,688	9,662	4,505
19.17.07	12,90	11,632	9,713	4,505
19.17.09	12,90	11,632	9,713	4,539
19.17.11	12,95	11,8	9,713	4,505
19.17.13	13,07	11,632	9,662	4,438
19.17.15	12,95	11,688	9,662	4,405
19.17.17	13,01	11,688	9,764	4,505
19.17.19	12,84	11,688	9,764	4,539
19.17.21	13,01	11,8	9,866	4,471
19.17.23	13,07	11,688	9,612	4,471
19.17.25	13,01	11,744	9,662	4,505
19.17.27	12,95	11,688	9,713	4,539
19.17.29	13,01	11,688	9,764	4,471
19.17.31	13,01	11,744	9,562	4,471
19.17.33	13,07	11,688	9,612	4,539
19.17.35	13,07	11,744	9,713	4,539
19.17.37	13,07	11,744	9,713	4,572
19.17.39	13,07	11,744	9,713	4,471
19.17.41	13,01	11,632	9,662	4,606
19.17.43	12,95	11,632	9,612	4,505
19.17.45	12,95	11,688	9,662	4,572
19.17.47	13,01	11,8	9,713	4,539
19.17.49	12,95	11,632	9,662	4,471
19.17.51	12,90	11,688	9,713	4,438
19.17.53	12,90	11,688	9,713	4,539
19.17.55	13,07	11,688	9,764	4,539
19.17.57	12,95	11,688	9,815	4,505
19.17.59	13,07	11,688	9,713	4,438
19.18.01	13,01	11,632	9,612	4,405
19.18.03	12,90	11,688	9,612	4,539
19.18.05	12,95	11,688	9,764	4,572
19.18.07	13,07	11,688	9,662	4,471
19.18.09	12,95	11,632	9,612	4,471
19.18.11	13,01	11,744	9,412	4,505
19.18.13	12,95	11,632	9,662	4,539
19.18.15	12,90	11,856	9,866	4,539

19.18.17	13,07	11,688	9,815	4,505
19.18.19	13,07	11,8	9,713	4,438
19.18.21	12,90	11,632	9,612	4,438
19.18.23	13,01	11,688	9,562	4,471
19.18.25	12,90	11,8	9,713	4,505
19.18.27	13,01	11,744	9,713	4,539



Series 1 =Sensor IDCs S1, Series 2 = Sensor IDCs S2, Series 3 = Sensor IDCs S3,
 Series 4 = Sensor IDCs S4

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Padang bulan, kota Jayapura Papua pada tanggal 7 September 1959, yang merupakan anak ke 4 dari bapak Boaz Yawan dan ibu Adomina Sroyer. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD YPK V Marthen Arwam di Yafdas Biak lulus tahun 1975, SMP YPK Ridge Biak lulus tahun 1978, SMA YPK Ridge Biak lulus tahun 1981, dan pendidikan S1 jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung pada tahun 1986.

Penulis pernah bekerja di Stasiun Bumi Satelit cuaca LAPAN RI, di Biak Papua sejak tahun 1981 s/d 1986, pada tahun 1986 dapat tugas belajar pada program S1 Teknik Elektro di ITENAS Bandung. Pada tahun 1997 s/d 2012 bekerja di Stasiun Bumi Telemetry and Tracking Command (TT & C) kerja sama ISRO India dan LAPAN Indonesia. di Biak Papua. Penulis mengikuti pendidikan program pra Magister, jurusan Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) pada tahun 2013 dan melanjutkan program Magister (S2) di Departemen Fisika bidang Instrumentasi, tahun 2014 di ITS Surabaya. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Departemen Fisika ITS. Kritik dan saran dapat ditujukan ke e-mail: zacharias_yawan@yahoo.com.